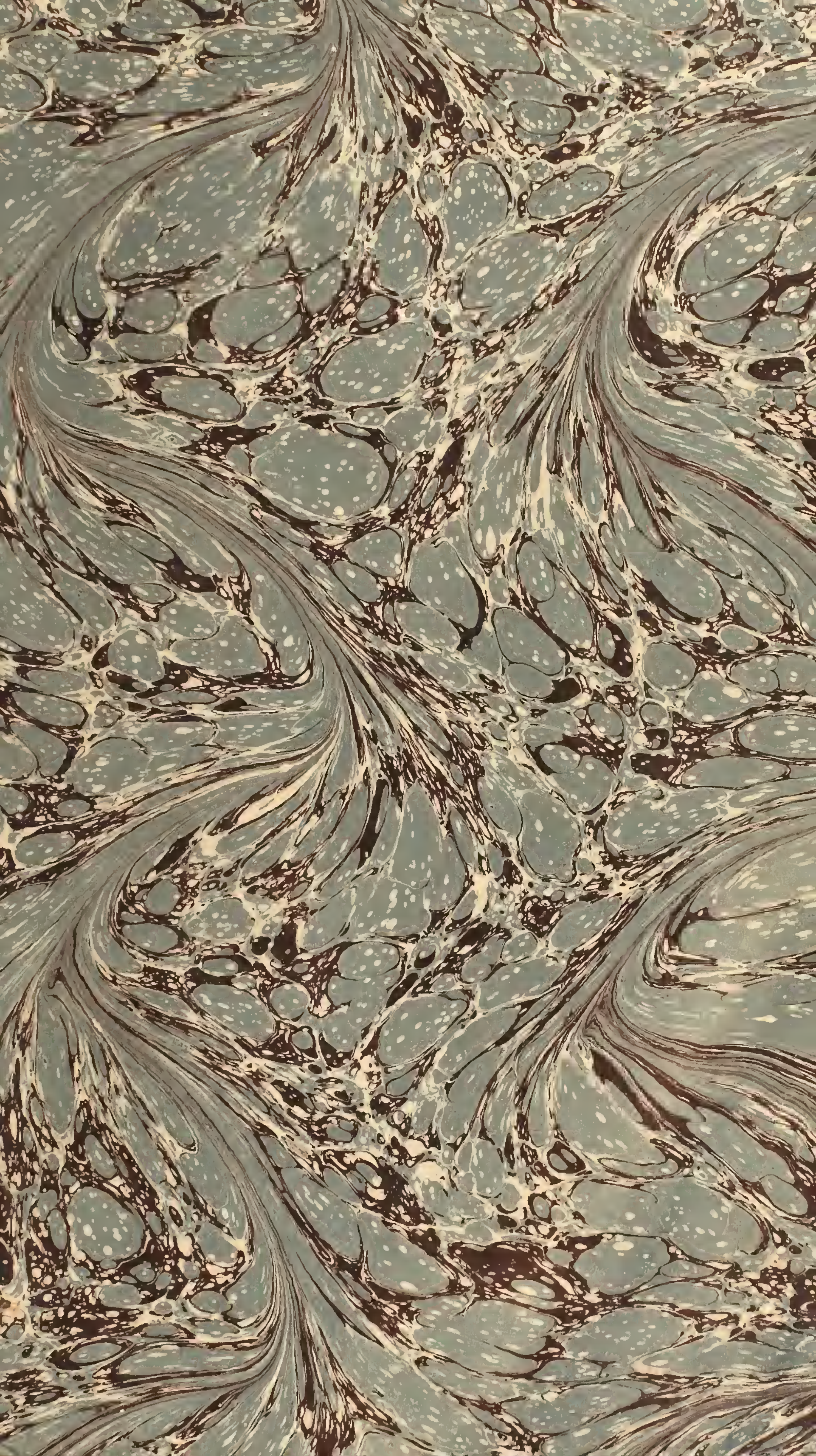


à Mr. Richard Taylor
l'auteur

ESSAI

SUR LES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES

DES

ANIMAUX

PAR

M. CH. MATTEUCCI.

PARIS

CARILIAN-GOEURY ET Vr. DALMONT,

LIBRAIRES DES CORPS ROYAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

QUAI DES AUGUSTINS, 39 ET 41.

—

1840

ESSAI

SUR LES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES

DES ANIMAUX.

IMPRIMERIE DE DUCESSOIS,
quai des Augustins, 55.

ESSAI

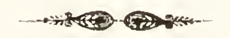
SUR LES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES

DES

ANIMAUX

PAR

M. CH. MATTEUCCI.



PARIS

CARILIAN-GOEURY ET Vr. DALMONT,

LIBRAIRES DES CORPS ROYAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

QUAI DES AUGUSTINS, 39 ET 41.

—

1840

PRÉFACE.

Toutes les fois que, sur un point quelconque du corps d'un animal vivant ou récemment tué, on applique les fils métalliques qui sont réunis aux deux pôles d'une pile, on observe un certain nombre de phénomènes dont la nature et l'intensité dépendent de la force de la pile, du degré d'excitabilité de l'animal, et de l'organisation de la partie parcourue par le courant électrique. — On a généralement distingué ces phénomènes, afin d'apporter un certain ordre dans leur exposition en phénomènes chimiques, physiques et physiologiques. Sans nous occuper trop de la véritable justesse de cette classification, je me bornerai seulement à faire observer que ce n'est que des derniers qu'il s'agit dans ce travail. Les phénomènes physiques et chimiques, quoique encore très-peu étudiés, sont bien loin d'offrir le même intérêt que les autres : du reste, on peut toujours les expliquer, en ayant égard à l'organisation des parties animales soumises au passage du courant, et à leur composition chimique. En effet, ces phénomènes se réduisent à un échauffement plus ou moins grand, à la décomposition de l'eau et des autres sels contenus dans les liquides animaux, à la séparation et coagulation de l'albumine. — Les phénomènes physiologiques qui forment, comme je l'ai déjà dit, le seul but de ce travail, consistent principalement dans des contractions musculaires et dans des sensations douloureuses développées dans ces animaux, exposés à l'action du courant lorsqu'ils sont encore vivants, ou bien doués d'un certain degré d'excitabilité. — Je me garderai bien d'exposer tout ce qu'on a dit sur ce sujet. Je ne me propose pas de faire l'histoire de cette branche

de la physique électrique. Il y eut une époque, celle à jamais célèbre de Galvani et de Volta, dans laquelle toutes les recherches expérimentales étaient réduites à soumettre des animaux, et surtout la grenouille, à l'action de l'électricité. C'est à l'engouement qui s'était emparé des savants de cette époque, que nous devons une foule d'observations ou fausses ou incomplètes dont les annales de la science sont remplies. Je me limiterai uniquement à exposer celles qui sont restées dans la science, tout en y ajoutant les découvertes remarquables faites dans ces derniers temps. J'ai tâché, autant que je l'ai pu, de remplir par de nouvelles expériences toutes les lacunes qui se sont présentées. C'est là le sujet de la première partie de mon travail. Dans la seconde partie, je m'occuperai de l'existence de l'électricité dans les animaux. — Je n'ai pas l'espoir d'avoir rempli la tâche que je me suis proposée; elle est immense pour moi, très-difficile dans l'état actuel de la science. J'ai hasardé de le faire, m'étant occupé, dans ces derniers temps, spécialement de ce sujet, et dans l'espoir d'exciter des travaux plus complets. Mon but principal, c'est de faire l'exposition scientifique de tous les phénomènes bien constatés d'électricité animale, et de faire ressortir par là les découvertes qui nous restent à faire.

Je ne finirai pas sans solliciter l'indulgence du lecteur pour les fautes de langage qu'on pourra trouver dans ce travail. L'accueil très-honorable pour moi que l'Académie des Sciences a bien voulu accorder à mes premières recherches sur les phénomènes électriques de la torpille, m'a engagé à publier, dans une langue qui n'est pas la mienne, cet essai auquel elles ont frayé la route.

ESSAI

SUR LES PHÉNOMÈNES ÉLECTRIQUES

DES ANIMAUX.

PREMIÈRE PARTIE.

CHAPITRE I.

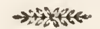
LOIS GÉNÉRALES DES CONTRACTIONS PRODUITES PAR LE PASSAGE DU COURANT DANS LES NERFS SEULEMENT.

Quelle que soit la partie musculaire d'un animal vivant ou récemment tué que l'on fait traverser par un courant électrique, il y a toujours des contractions musculaires instantanées d'excitées, au moment de la fermeture du circuit. Les contractions cessent immédiatement après, quoique le courant continue : enfin on les voit généralement se reproduire si on arrête la propagation électrique Parmi les animaux qu'on a soumis au passage du courant, c'est la grenouille qui a été reconnue comme la plus propre et la plus sensible aux courants électriques les plus faibles. Nobili a voulu comparer la sensibilité de la grenouille, comme moyen électroscopique, à celle des galvanomètres les plus sensibles : il a pu s'assurer que toutes les fois qu'il y a dans la source électro-motrice, ou dans le circuit, une portion liquide, la grenouille ne cède en rien au galvanomètre. En général, quelle que soit la

source du courant électrique, la grenouille le manifeste toujours par ses contractions. C'est ainsi que la réaction d'une solution acide sur une alcaline, celle d'un acide sur un métal, donnent lieu à des contractions très-fortes. Ce n'est qu'aux courants thermo-électriques et à ceux de tension que la grenouille est moins sensible. On explique très-aisément cette différence en réfléchissant à la bonne conductibilité de la source, différence qui existe aussi pour les galvanomètres très-sensibles aux courants hydro-électriques. Toutes les parties musculaires d'un animal vivant ou récemment tué, sont susceptibles de se contracter à la première introduction du courant électrique; mais ces contractions cessent complétement, malgré la continuité du courant; des nouvelles contractions se reproduisent lorsque le courant cesse. C'est là le fait capital, la première découverte. La question qui se présente tout de suite, est celle de bien distinguer la part que les filets nerveux ramifiés dans les muscles ont dans ces contractions, de celle qui peut appartenir à la fibre musculaire elle-même. Dans l'impossibilité d'attaquer de front la question, impossibilité qui tient à celle d'avoir de la substance musculaire entièrement privée de filets nerveux, on doit d'abord tenter de découvrir quelle est l'action du courant électrique, en agissant seulement sur les filets nerveux. C'est en découvrant la manière d'agir du courant sur les muscles, lorsque son passage est limité aux filets nerveux qui vont s'y ramifier, que nous pourrons déterminer son action sur la fibre musculaire. Nous devons à MM. Lehot et Bellingeri, et enfin à M. Marianini, la découverte de ces lois très-importantes de physiologie électrique. Les lois découvertes sont les suivantes : 1° En agissant sur les nerfs seulement, on voit les muscles se contracter, lorsque le courant s'introduit de manière à parcourir les filets nerveux dans la

direction de ses ramifications. Dans ce cas, le pôle positif est placé vers le cerveau ou l'origine des nerfs, le négatif vers les extrémités. 2° Aucune contraction n'a lieu lorsque ce courant cesse. 3° Réciproquement, si le courant électrique a une direction opposée, c'est-à-dire, s'il est dirigé des ramifications des nerfs à leur origine, on n'a aucune contraction lorsque le courant s'introduit. 4° La contraction a lieu lorsque ce courant cesse. Ces lois peuvent se confirmer très-aisément; toute grenouille préparée à la manière de Galvani, c'est-à-dire, avec un morceau de moelle épinière réunie aux jambes par ses nerfs sciatiques, est propre à cette expérience. Une des manières les plus sûres pour y réussir sans tâtonnement, c'est de plonger la moelle épinière d'une grenouille préparée dans un verre d'eau, et les jambes dans un autre verre, et d'introduire le courant en plongeant les pôles dans le liquide des deux verres. Il faut que les deux verres soient bien isolés. Ces expériences réussissent aussi sur l'animal vivant, mais comme dans ce cas on aperçoit d'autres phénomènes, nous aurons occasion d'y revenir avec plus d'étendue. Il arrive quelquefois que des contractions s'obtiennent en fermant le circuit, quelle que soit la direction du courant, et ce cas se vérifie souvent dans les premiers instants que l'animal a été préparé. Si on laisse la grenouille quelques secondes dans le circuit, les contractions ont lieu indifféremment en l'ouvrant ou en le fermant quelle qu'en soit la direction; c'est-à-dire, qu'on n'a plus les phénomènes contenus dans les lois rapportées. M. Marianini a très-bien démontré, et il est très-aisé de s'en assurer, que les anomalies aux lois déjà exposées peuvent bien s'expliquer en admettant qu'une portion du courant électrique ne suit pas le seul filet nerveux intermédiaire entre les pôles, mais qu'elle se répand aussi par la couche humide sur laquelle la gre-

nouille est posée, et passe ainsi à travers les muscles dans une direction opposée à l'autre portion, qui marche directement par le filet nerveux. On conçoit alors que comme nous avons dans le même temps des courants qui vont suivant la ramification des nerfs, et des autres qui vont en sens inverse, on doit avoir des contractions, soit en ouvrant, soit en fermant le circuit. Si l'expérience est faite, en isolant la grenouille avec soin, et si l'on attend que sa surface ne soit pas trop humide, toutes les anomalies disparaissent



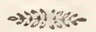
CHAPITRE II.

LOIS DES CONTRACTIONS PRODUITES PAR LE COURANT ÉLECTRIQUE LORSQU'IL AGIT EN MÊME TEMPS SUR LES NERFS ET SUR LES MUSCLES, OU SUR LES MUSCLES SEULEMENT.

Quelle que soit la direction du courant électrique relativement à celle des fibres musculaires, la contraction a lieu toujours à la première introduction du courant. Ces observations peuvent se faire sur des morceaux de substance musculaire à laquelle ont été enlevés tous les filets nerveux visibles. On pourrait supposer par là que la contraction musculaire a lieu indépendamment des filets nerveux. Marianini a justement observé qu'on parvient aussi, en partant des lois exposées, à expliquer l'égale activité du courant électrique à exciter des contractions, quelle que soit sa direction relativement à la ramification nerveuse. Il suffit d'admettre que, dans les muscles, les filets nerveux sont distribués dans tous les sens, de sorte qu'il y a dans le même temps, dans un muscle soumis au courant élec-

trique, des courants *directs*, ou suivant la ramification du nerf, et des courants *inverses*, c'est-à-dire, dans une direction opposée. En partant de cette idée, on conçoit très-aisément que, quelle que soit la direction du courant qui agit sur un morceau de substance musculaire, il doit toujours y avoir contraction, soit en ouvrant, soit en fermant le circuit ; c'est là ce qu'on voit réellement. Toutefois l'influence de la direction du courant ne manque pas de se faire observer. Qu'on prenne pour cela une grenouille préparée à la manière de Galvani, et qu'on plonge l'une de ses jambes dans un verre d'eau, l'autre dans un autre verre d'eau. On voit alors, et surtout quand l'animal commence à s'affaiblir, que l'introduction du courant fait contracter la jambe qui est plongée dans le verre du pôle négatif, et que le contraire a lieu lorsqu'on détruit le circuit. Cette observation se vérifie dans tous les animaux et par nous-mêmes. Si on vient avec les deux mains mouillées à décharger une pile, on ressent une contraction plus forte à la main qui transmet le courant dans le liquide que dans l'autre. Lorsqu'on cesse de toucher la pile, c'est l'autre main qui éprouve la contraction la plus forte — Un phénomène curieux qui se présente lorsqu'on opère de la manière exposée, consiste dans l'augmentation observée dans la contraction en ouvrant le circuit, par le passage plus prolongé du courant ou par le renouvellement successif, a très-peu d'intervalle, entre un passage et l'autre de ce même courant. Si, au lieu de détruire le circuit aussitôt fermé, on attend quelques secondes, on aura, en ouvrant, une contraction plus forte que celle qu'on aurait en détruisant le circuit aussitôt fermé. En établissant la circulation dans la grenouille avec les mains sans les avoir mouillées d'avance, la contraction n'a pas lieu : si on vient après un certain temps à détruire le circuit, la contraction a lieu

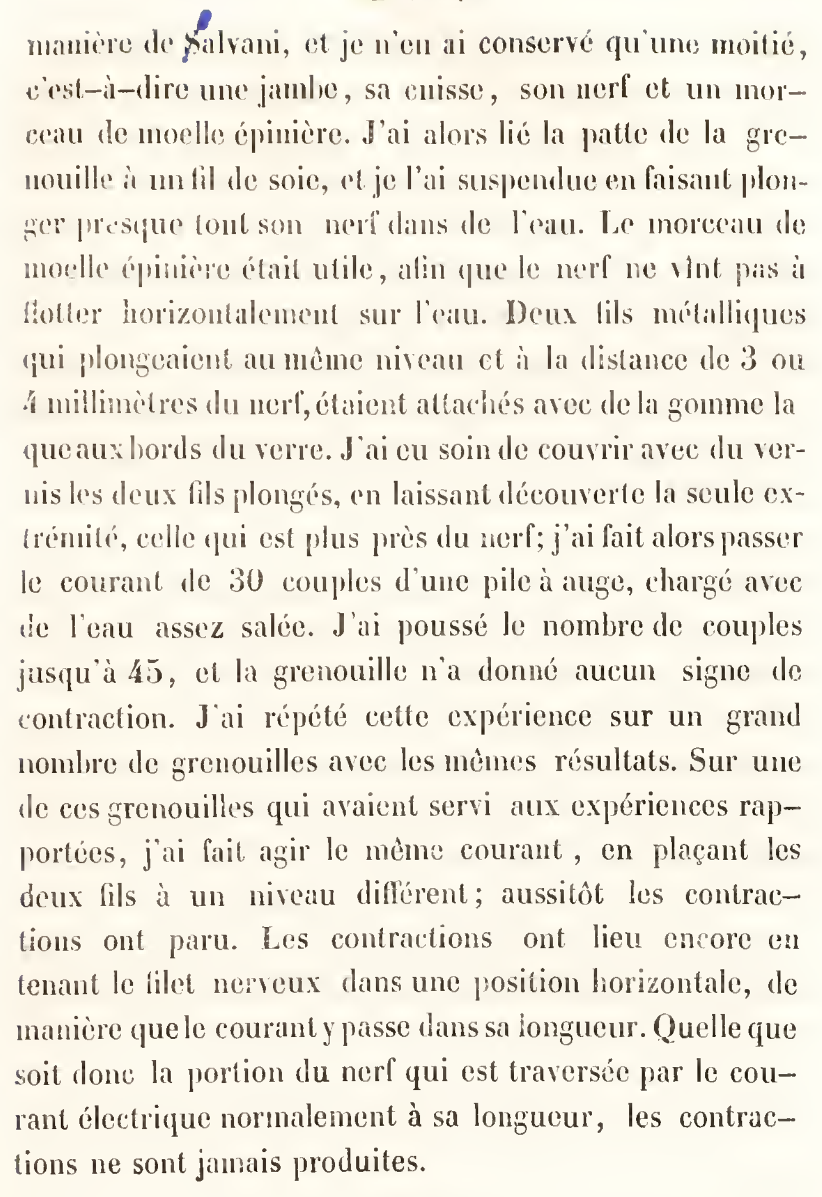
— J'ai voulu rapporter cette dernière observation, quoiqu'elle soit très-simple et très-facile à expliquer, par la raison qu'on a voulu, comme nous verrons par la suite, en faire le fondement d'une théorie des contractions électriques.



CHAPITRE III.

COURANT ÉLECTRIQUE DIRIGÉ NORMALEMENT A LA LONGUEUR DU NERF.

Nous avons vu quelle était l'influence du courant pour exciter des contractions, suivant que sa marche était dans le sens de la ramification du nerf, ou dans le sens opposé. C'est en partant de ces lois que nous pouvons employer la grenouille à découvrir la direction du courant. J'ai maintenant à parler de l'action du courant électrique, lorsqu'il agit par le nerf en le traversant normalement à sa longueur. La première fois que j'ai tenté cette expérience, je l'ai fait en appliquant les deux pôles de la pile vis-à-vis l'un de l'autre sur un filet nerveux. Il était impossible, à cause de la petite épaisseur du nerf, d'avoir les deux pôles sur une ligne perpendiculaire au nerf sans qu'ils ne se touchassent. Dans l'autre manière, il y aurait eu toujours une portion du courant parcourant le nerf dans une direction oblique, de plus, c'était une portion de nerf trop courte, celle qui était ainsi traversée. D'autres fois les contractions excitées par cette manière d'opérer étaient extrêmement faibles et quelquefois elles manquaient. Malgré cela, j'ai changé la disposition de l'expérience, et voilà comment je suis parvenu à découvrir nettement quelle est la véritable action du courant. Dans ce cas, j'ai préparé une grenouille à la



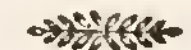
manière de Galvani, et je n'en ai conservé qu'une moitié, c'est-à-dire une jambe, sa cuisse, son nerf et un morceau de moelle épinière. J'ai alors lié la patte de la grenouille à un fil de soie, et je l'ai suspendue en faisant plonger presque tout son nerf dans de l'eau. Le morceau de moelle épinière était utile, afin que le nerf ne vînt pas à flotter horizontalement sur l'eau. Deux fils métalliques qui plongeaient au même niveau et à la distance de 3 ou 4 millimètres du nerf, étaient attachés avec de la gomme laque aux bords du verre. J'ai eu soin de couvrir avec du vernis les deux fils plongés, en laissant découverte la seule extrémité, celle qui est plus près du nerf; j'ai fait alors passer le courant de 30 couples d'une pile à auge, chargé avec de l'eau assez salée. J'ai poussé le nombre de couples jusqu'à 45, et la grenouille n'a donné aucun signe de contraction. J'ai répété cette expérience sur un grand nombre de grenouilles avec les mêmes résultats. Sur une de ces grenouilles qui avaient servi aux expériences rapportées, j'ai fait agir le même courant, en plaçant les deux fils à un niveau différent; aussitôt les contractions ont paru. Les contractions ont lieu encore en tenant le filet nerveux dans une position horizontale, de manière que le courant y passe dans sa longueur. Quelle que soit donc la portion du nerf qui est traversée par le courant électrique normalement à sa longueur, les contractions ne sont jamais produites.

CHAPITRE IV.

COURANT ÉLECTRIQUE QUI AGIT SUR LE CERVEAU.

Il aurait été important, après avoir bien fixé la manière d'agir du courant électrique sur les filets nerveux, d'en

faire autant sur la masse cérébrale. Malheureusement, j'ai dû renoncer à une suite d'expériences, quoique aidé dans ces recherches par un habile anatomiste; je n'ai jamais pu isoler assez les différentes parties du cerveau pour être sûr d'agir sur chacune d'elles séparément. Il arrive aussi presque toujours que de très-fortes hémorrhagies tuent bientôt l'animal. Toutefois, je rapporterai ici le peu que je pus réussir à compléter, en engageant vivement les physiologistes à continuer ces observations. J'ai découvert avec un trépan le cerveau d'un lapin vivant; j'ai touché avec les deux fils d'une pile à auge de 60 couples, les hemisphères cérébraux à la distance de deux centimètres, l'animal n'a pas bougé. J'ai porté sur le cervelet les mêmes fils, le courant est passé sans exciter dans l'animal, aucun effet. Dans la pulpe des hémisphères cérébraux et du cervelet le passage du courant n'a rien produit non plus. C'est en introduisant davantage les fils de la pile, que l'animal s'est mis à crier et à s'agiter très-fortement. Ces phénomènes avaient lieu lorsque c'était la couche optique et les corps quadrijumeaux qu'on touchait et qu'on faisait parcourir par le courant. Il me semble que dans leur action sur le cerveau, le courant électrique ne diffère pas des autres agents stimulants.



CHAPITRE V.

CAUSES QUI MODIFIENT L'ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ SUR LES NERFS; LIGATURE.

On sait ce qu'il arrive lorsqu'un nerf est lié : Si on irrite la partie qui est au-dessus de la ligature, c'est-à-dire, celle qui est tournée vers son origine, on n'observe aucune

contraction dans les muscles inférieurs; seulement, l'animal crie et éprouve de la douleur. Si, au contraire, c'est la partie qui est au-dessous de la ligature qui est irritée, l'animal est pris par des contractions très-fortes dans les muscles inférieurs, sans qu'aucune douleur se soit réveillée. Voyons maintenant ce qui arrive lorsque le stimulant est le courant électrique. On a étudié depuis longtemps l'influence de la ligature : on avait cru d'abord que la ligature agissait sur le courant électrique comme sur les autres agents stimulants. Après on a changé d'avis, et on trouve maintenant, dans des ouvrages célèbres de physique que la ligature du nerf n'arrête pas l'action du courant électrique qu'on fait passer au-dessus. Il m'a paru important d'examiner cette question avec plus de soin. Aux premiers essais que j'ai tentés, j'avais cru qu'effectivement la ligature n'empêcherait pas l'action du courant électrique; on observe pourtant, de quelque manière qu'on opère, un grand affaiblissement dans les contractions produites lorsque le courant direct passe au-dessus de la ligature. Pour me mettre entièrement à l'abri de toute influence étrangère à l'expérience, j'ai opéré de la manière suivante : J'ai pris une grenouille préparée à la manière ordinaire, et je l'ai coupée par le milieu longitudinal, ayant ainsi une jambe, sa cuisse, le nerf et un morceau de moelle épinière; je suspends la grenouille par un fil de soie que je plie autour d'un tube de verre vernissé; je lie alors le nerf au milieu, et je serre le nœud jusqu'à ce que je voie de légères contractions dans la jambe; alors je pose les deux pôles de la pile de 15 couples à auges au-dessus de la ligature, en les tenant à la plus grande distance possible entre eux. Je n'observe aucune trace de contraction, et cela quelle que soit la direction du courant et quel que soit l'instant, c'est-à-dire, en ouvrant ou en

fermant le circuit; si, au contraire, le courant passe au-dessous de la ligature, l'introduction du courant direct donne lieu à des contractions très-fortes. J'ai porté sur d'autres grenouilles le nombre des couples de la pile jusqu'à 60, et j'ai toujours obtenu les mêmes résultats. Il faut maintenant faire remarquer comment on s'était trompé. La même grenouille, qui, suspendue et exactement isolée, ne se contracte pas par le passage du courant au-dessus de la ligature, se contracte si l'expérience est faite, lorsqu'on l'a posée sur une lame de verre ou de gomme laque. L'isolement n'étant pas complet, dans ces cas, il arrive qu'une portion du courant achève son sircuit en passant au-dessous de la ligature. Le courant électrique est donc modifié dans son action sur le nerf par l'effet de la ligature, de la même manière que les autres agents stimulants. Il faut, à ce propos, faire remarquer que si l'on coupe avec soin la ligature, ce courant ne devient pas, malgré cela, capable d'exciter des contractions en passant au-dessus du point qu'on avait lié; on trouve le nerf dans ce point très-aminci et réduit presque à son névrilème. Si la ligature n'a pas produit cette altération dans le nerf, le courant est encore capable d'agir en passant au-dessus de la ligature; mais, dans cas, tous les autres agents stimulants agissent de même; il est donc évident, que la ligature agit également dans tous les cas. Il me resterait ici à ajouter ce qui arrive au nerf par la ligature, en opérant sur un animal vivant; mais c'est dans une autre partie de ce travail que ce sujet sera traité.

CHAPITRE VI.

ALTERNATIVES VOLTIANES.

Parmi les causes qui modifient l'action du courant électrique sur les nerfs, nous avons le courant électrique lui-même. C'est là un phénomène découvert par le célèbre Volta. J'ai sur ce point très-peu à ajouter sur ce que nous devons à Volta et aux belles recherches de Marianini. — Voici les faits : Toutes les fois qu'une grenouille préparée, et dont les deux jambes plongent séparément dans deux verres d'eau, est soumise au passage du courant électrique, elle finit, après un certain temps, à ne plus se contracter, lorsqu'après avoir détruit le circuit on vient à le rétablir de la même manière qu'auparavant. Si alors la direction du courant est renversée, la grenouille se contracte quand l'électricité passe. Dans se second état, elle persiste pour quelque temps, mais elle finit encore par ne plus se contracter. Elle est devenue alors capable de se contracter en renversant la direction du courant, et ainsi de suite pour un certain nombre de fois.—Ayant appris longtemps après la découverte de Volta sur les alternatives, que la force du courant s'affaiblit en tenant le circuit fermé, et acquiert de nouveau son intensité en laissant le circuit fermé, on a été tenté d'abord d'expliquer le phénomène des alternatives voltianes par le seul changement que nous venons de faire remarquer avoir lieu dans les forces d'une pile suivant que le circuit est ouvert ou fermé. — M. Marianini a commencé par s'assurer que, quoique cette variation dans la force de la pile se mêle dans la production du phénomène des alternatives voltianes, néanmoins il existe même sans cela. Pour s'en assurer, qu'on tienne le circuit ouvert pour un certain temps et qu'on le ferme ensuite

en faisant passer le courant dans la même direction qu'au paravant. Si la grenouille est devenue insensible, elle ne se contracte même pas après avoir tenu le circuit ouvert pour un certain temps; les contractions ont lieu aussitôt, si la direction du même courant est renversée. En étudiant quelle était l'influence de 'a force du courant sur la production des alternatives voltianes, M. Marianini s'est assuré que leur durée est d'autant plus longue que le courant électrique est moins intense. En employant des grenouilles mortes depuis un certain temps, on trouve qu'elles cessent de se contracter sous un courant dirigé dans un certain sens, qui sera d'autant plus fort que l'affaiblissement de la grenouille sera plus grand; et ce qui a lieu pour le premier courant, se vérifie naturellement pour le courant renversé qu'on fait passer après. On conçoit par là très-aisément comment les alternatives voltianes doivent très-difficilement se produire sur la grenouille ou sur tout autre animal à l'état vivant. Effectivement, il arrive que tout en opérant avec des courants électriques d'une grande force, on n'obtient jamais sur l'animal vivant, la cessation totale des contractions produites pour un courant qu'on fait passer toujours dans même sens. Dans le cas de l'animal vivant, on ne parvient qu'à obtenir un grand affaiblissement dans les effets d'un courant dirigé dans un certain sens, tandis qu'on trouve ces effets bien plus forts lorsque la direction est renversée. Parmi les phénomènes les plus intéressants que nous devons aux recherches de M. Marianini sur les alternatives voltianes, il y a celui d'avoir découvert que, sans le passage du courant électrique contraire à celui qui a rendu la grenouille insensible, elle devient capable de reprendre son activité par le primier courant, étant laissée en repos pour un certain temps. Enfin, c'est encore au même savant que nous

devons de savoir que, sans prolonger le passage du courant dans un certain sens, on obtient les phénomènes des alternatives voltianes en ouvrant et en fermant le circuit plusieurs fois de suite; après un certain nombre de ces passages, faits à très-peu d'intervalle de temps l'un de l'autre, les contractions se font plus faibles, et celles qu'on a en renversant la direction plus fortes. Il faut encore ajouter comment ces phénomènes varient, lorsqu'au lieu d'agir sur les nerfs et sur les muscles dans le même temps, on fait passer le courant par le seul filet nerveux. Pour s'expliquer les résultats qu'on obtient en étudiant les productions des alternatives voltianes avec les seuls filets nerveux, il suffit de se rappeler les lois que nous avons exposées. Puisque le courant inverse ne donne jamais de contractions lorsqu'il entre, il est clair que le courant direct, qui passe par le seul nerf, ne sera jamais suivi d'un renforcement ,de contractions par le courant inverse; c'est là ce qui se vérifie par l'expérience.—M. Marianini avait admis que, même pour le courant inverse sur les seuls nerfs, il n'y avait pas d'altérations voltianes. J'ai repris l'étude de ce phénomène, et je suis parvenu à un résultat contraire à celui de cet habile observateur. Je prends une grenouille préparée à la manière ordinaire et je fais passer par son nerf sciatique le courant direct d'une pile de 15 couples à auges. Après avoir prolongé le passage du courant par une vingtaine de minutes, elle ne se contractait plus en renouvelant le circuit; je renverse alors le même courant, et c'est en ouvrant le circuit de ce courant inverse que j'obtiens de très-fortes contractions, et d'autant plus fortes que le circuit du courant inverse a été formé pour plus longtemps; alors, sans attendre que les contractions aient cessé en ouvrant le circuit, je renverse de nouveau la direction du courant, c'est-à-dire, je fais,

passer le courant direct et je trouve qu'il excite des contractions.

J'ai pu, sur un même individu, reproduire plusieurs fois à la suite l'un de l'autre ce même phénomène. Le courant inverse qui agit sur le seul nerf est capable de produire les alternatives. Il m'a paru important, pour bien saisir la nature du phénomène qui nous occupe, de voir s'il arrive effectivement quelque modification de conductibilité, ou d'autre, dans les membres de la grenouille soumise au passage du courant. J'ai voulu d'abord voir ce qu'il y avait d'applicable, à ce propos, des polarités secondaires, que M. Peltier dit se développer sur les membres d'une grenouille soumise au passage du courant électrique à travers un liquide ; j'ai répété d'abord l'expérience de l'habile observateur français. Toutes les fois qu'on fait passer le courant d'une pile de 15 à 30 couples à travers les deux jambes d'une grenouille préparée, qui plongent dans deux verres pleins d'eau, si on prolonge le passage pour quelques minutes, on trouve réellement les deux membres de la grenouille capables d'exciter un courant électrique secondaire. On s'en assure en retirant les deux pôles de la pile et en plongeant deux lames de platine réunies au fil d'un galvanomètre ; aussitôt l'aiguille dévie, et la déviation indique que ce courant est dirigé sur la grenouille dans le sens opposé du courant de la pile qui avait passé auparavant. Sans employer la grenouille, on peut s'assurer des polarités secondaires développées sur la grenouille, avec la grenouille même. Il est aussi possible de créer avec de seules grenouilles une pile secondaire ; il suffit, pour cela, de réunir une série de petits verres avec des grenouilles préparées et de faire passer le courant, pour quelque temps, en obligeant, avec une planche, les grenouilles à ne pas sauter hors des petits verres ; peut-être cette espèce de

pile secondaire, sans métaux, faite seulement avec des substances de nature animale, pourra-t-elle un jour nous expliquer quelques phénomènes d'électricité animale. Dans le phénomène des alternatives, on aurait pu supposer que c'est le courant secondaire qui, marchant en sens contraire du primitif et dans le même sens de ce courant lorsqu'on en a renversé la direction pour avoir les alternatives, est cause du phénomène. On pourrait aussi renforcer cette opinion, en voyant dans l'influence du repos, le même fait qui a lieu pour les polarités secondaires développées sur les métaux, qui disparaissent lorsqu'on a attendu quelque temps sans fermer le circuit. Un autre fait, que j'ai découvert, pourrait paraître favorable à cette hypothèse : lorsqu'une grenouille, disposée avec les jambes dans deux verres, est devenue incapable de se contracter à l'introduction du courant, si on enlève, pour un instant, la grenouille, et qu'on la remette après avoir coupé la portion de ses jambes qui était plongée dans l'eau, on aura les contractions en rétablissant le courant dans le même sens qu'auparavant. Un galvanomètre qu'on avait introduit dans le circuit avec la grenouille, et qui donnait une déviation de 25° lorsque la grenouille était épuisée, augmenta la déviation de 10° après lui avoir coupé les jambes qu'on avait tenues plongées. Malgré tout cela, il m'a paru important de prouver directement si les polarités secondaires sont réellement la cause des alternatives voltianes. En introduisant le galvanomètre dans le circuit, on aurait dû trouver, après le renversement de la direction, un courant plus fort. En effet, c'est le courant secondaire qui s'ajoute, dans ce cas, au courant de la pile pour circuler ensemble ; j'ai, dans ce but, tenté un grand nombre d'expériences. On conçoit très-aisément comment cela peut se faire : un galvanomètre est introduit dans le

circuit, la grenouille se contracte, la déviation, d'abord très-grande, revient, et après une trentaine de minutes, je détruis le circuit. L'aiguille revenue après, je rétablis le courant et je note la déviation. J'enlève la grenouille, je change sa position, en mettant les jambes où étaient les nerfs et les nerfs où étaient les jambes, et je ferme encore le circuit; je tiens encore note de la déviation. On voit toujours les contractions très-fortes par ce renversement, mais les déviations ne sont pas augmentées. J'ai fait quatre expériences de ce genre, et j'ai toujours obtenu, soit avant, soit après, le renversement ou la même déviation, ou quelquefois un peu plus, quelquefois un peu moins. Concluons donc que la contraction qui a lieu en renversant la direction du courant, n'est pas due à une augmentation d'intensité de ce courant, produite par les polarités secondaires. Ce n'est pas non plus, comme M. Marianini a voulu le soutenir, que l'électricité sort condensée dans les membres de la grenouille, et qu'elle revienne ainsi avec le courant inverti. Quant aux contractions qu'on a après avoir coupé la portion des jambes qui étaient plongées dans l'eau, ce n'est là qu'un phénomène de conductibilité. Si on examine les muscles d'une grenouille qui a été pour quelque temps dans l'eau, on les verra devenir plus gros et blancs, tandis que l'eau est devenue rougeâtre; Le sang et les humeurs, qui sont la partie la plus conductrice des muscles, sont dissous dans l'eau qui les a remplacés.

CHAPITRE VII.

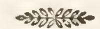
POISONS.

Il était aussi curieux d'étudier l'action du courant électrique sur des grenouilles, après les avoir tuées ou

tourmentées par l'action de certains poisons. Le premier dont j'ai étudié l'action a été l'acide prussique. Celui dont j'ai fait usage est connu par les pharmaciens, sous le nom d'acide prussique de Gea-Pessina. J'ai pris une grenouille très-vivace et j'ai fait tomber trois gouttes de cette acide sur sa langue. Une demi-minute était à peine écoulée que la grenouille a étendu ses jambes. Alors, je l'ai coupée et préparée à la manière ordinaire. Le courant d'une pile de quinze couples à auges a été transmis par son corps, des nerfs sciatiques aux jambes. Il y a eu de très-fortes contractions, telles qu'on les aurait observées, si la grenouille n'eût pas été sous l'influence de l'acide prussique. J'ai vu encore deux exemples de ce genre avec le même résultat, et parmi eux, un très-remarquable, que je rapporterai en parlant du tétanos. Sur d'autres grenouilles soumises à l'acide prussique, j'ai attendu qu'elles fussent mortes : après les avoir préparées, on les a soumises au passage du courant de quinze couples, et les contractions furent aussi fortes, mais moins persistantes qu'à l'ordinaire. J'ai mis deux grenouilles très-vivaces dans une solution d'extrait d'opium, faite de trois gros d'extrait et huit onces d'eau. La tête seule des grenouilles sortait de l'eau. J'en ai retiré une après deux heures; c'était celle qui avait l'air de se ressentir de l'action de l'opium. Je l'ai préparée rapidement, et j'ai vu alors un phénomène qui arrive souvent sur les grenouilles très-vivaces, et sur lequel j'aurai occasion de revenir en parlant du tétanos. Ses membres furent tendus et très-contractés. Après que cet état fut passé, je la soumis au passage du courant de quinze couples du nerf aux muscles, et j'en eus de très-fortes contractions. Je dirai en passant, pour prouver l'excitabilité de cette grenouille, qu'elle me donna, pour quelque temps, des signes du courant *propre*, ce qui n'arrive que sur les

2

grenouilles très-vivaces. Cette grenouille, tout étant préparée, fut laissée dans la solution d'opium encore trente minutes, et après ce temps, elle était encore capable de se contracter fortement au passage du courant électrique. L'autre grenouille est morte après cinq heures. Aussitôt après sa mort, elle fut préparée et soumise au courant de quinze couples; elle se contracta fortement. Un seul couple en faisait autant. L'acide prussique et la morphine n'affaiblissent donc pas l'action que le courant électrique a d'exciter des contractions dans les muscles des animaux vivants, ou tués récemment.



CHAPITRE VIII.

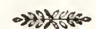
ACTION SIMULTANÉE SUR LE MÊME NERF DE DEUX COURANTS ÉLECTRIQUES D'UNE FORCE INÉGALE.

Nous avons vu que lorsque le courant électrique s'introduit dans les membres d'une grenouille, il excite dans les muscles des contractions, qui cessent ensuite quoique le passage continue. Il m'a paru important de voir quel aurait été l'effet d'un autre courant, plus fort ou plus faible, introduit dans la grenouille déjà soumise au passage du courant.— Après avoir préparé une grenouille et plongé ses nerfs dans un verre d'eau, ses muscles dans un autre verre, je fais passer le courant d'une pile de quinze couples. La contraction cessée, j'introduis dans les deux verres les pôles d'une autre pile d'un moindre nombre de couples, ou bien faite d'un seul couple, c'est-à-dire un arc zinc et platine. On pourrait supposer que, dans ce cas, une portion du courant de la première pile circule par le couple surajouté, et décharge ainsi la grenouille

d'une partie du courant. Si cela est nous devons nous en apercevoir ; il faut rappeler ici une des manières par lesquelles on a la contraction en ouvrant le circuit : c'est de faire passer le courant qui traverse d'abord une grenouille par un arc métallique qu'on ajoute au circuit. On voit alors, surtout avec le courant inverse. des contractions qui correspondent à celles qu'on a en ouvrant directement le circuit. Nous devrions donc, surtout avec le courant inverse, avoir des contractions lorsque la pile élémentaire est introduite, dans le cas qu'elle fît l'office de décharger le courant et d'en enlever ainsi une portion à la grenouille. — Je passe maintenant à décrire l'expérience que j'ai tentée. Je prépare une grenouille et je plonge ses nerfs dans le verre A, fig. 2, les muscles dans le verre B. Un des fils de la pile plonge dans le verre A, l'autre est lié à un fil du galvanomètre. Le second fil du galvanomètre plonge dans le verre B. Il faut que tous ces fils, qui plongent dans le liquide, soient en platine. Lorsque le courant entre en allant des nerfs aux muscles, on observe de fortes contractions et l'aiguille dévie. Après quelques minutes, la déviation s'affaiblit et finit par se fixer. Si on introduit alors le couple élémentaire dans les deux verres, c'est-à-dire, le zinc dans le verre A, le cuivre en B; on voit alors l'aiguille revenir vers le zéro, et la grenouille ne donne aucun signe de contraction. Aussitôt j'enlève l'arc zinc et cuivre, et je détruis le circuit de la pile. Je remets le seul arc, et de très-fortes contractions sont montrées par la grenouille. Je répète la même expérience, en changeant seulement la position de l'arc zinc et cuivre. Cette fois, je plonge le zinc dans le verre B, avec les muscles et le pôle négatif, et le cuivre dans le verre A, avec les nerfs et le pôle positif. La grenouille reste encore tranquille, tandis que l'aiguille est plus déviée. Je détruis de nouveau le circuit

sans que des contractions aient lieu, et je fais encore passer, avec la même disposition, le courant élémentaire : la grenouille ne se contracte pas en l'introduisant; mais cela arrive l'orsqu'on la retire. Ces résultats peuvent s'expliquer très-aisément. Lorsque le couple élémentaire est introduit avec le zinc dans le verre A et le cuivre dans le verre B, le courant de cette pile circule en allant du pôle positif de la pile, au négatif par la pile; c'est donc un courant contraire qui affaiblit par là la déviation. Dans le second cas, le courant de l'arc zinc et cuivre circule avec le courant de la pile, et la déviation en est par là augmentée. Dans les deux cas, le courant introduit en second lieu ne circule pas uniquement dans la grenouille, et il ne sert pas à résoudre complétement la question que nous nous sommes proposée. Voici comment j'y suis parvenu. La grenouille était disposée, comme auparavant, avec le galvanomètre et une pile de trente couples. Lorsque l'aiguille fut fixée, je pris l'arc élémentaire zinc et cuivre, et je touchai avec le zinc, ses nerfs, et avec le cuivre, ses muscles. La différence entre cette expérience et les précédentes, consiste en cela, qu'au lieu de plonger les extrémités de l'arc zinc et cuivre dans le liquide, je touche cette fois-ci la grenouille même, et on réussit très-aisément en faisant qu'une portion du nerf ne soit pas dans l'eau. Aucune contraction n'a lieu, quelle que soit la disposition de l'arc, ni en détruisant ni en complétant le circuit. Dans tous les cas, l'aiguille du galvanomètre ne souffre pas la plus petite variation, elle reste où elle a été fixée par le courant de la pile. — Lorsque le courant de la pile ne passait pas, l'arc élémentaire, disposé comme dans l'expérience que nous avons rapportée, produisait des contractions très-fortes. Le couple élémentaire n'avait donc aucune action sur le courant de la pile, car son circuit était limité à la

grenouille, et il n'était pas non plus le conducteur d'un courant dérivé, puisque, dans ce cas, on aurait dû voir un changement dans le galvanomètre, et des contractions dans la grenouille en l'enlevant. — Je crois inutile d'ajouter, que toutes les fois que la grenouille était soumise au courant de l'arc zinc et cuivre, elle se contractait fortement en introduisant le courant de la pile de quinze ou trente couples. Concluons donc que toutes les fois que les membres d'une grenouille ou d'un animal quelconque, sont soumis au passage d'un courant électrique, un second courant plus faible introduit après ne produit aucune contraction, tandis qu'il en produit s'il est plus fort.



CHAPITRE IX.

SENSATIONS PRODUITES PAR LE COURANT ÉLECTRIQUE.

Jusqu'ici nous n'avons étudié le courant électrique que comme capable d'exciter des contractions musculaires. Il faut maintenant l'étudier comme capable d'exciter des sensations. Un ancien fait de Sulzer, publié dans un ouvrage intitulé *Théorie générale du plaisir*, est le premier qui prouve que l'action du courant électrique peut exciter des sensations. Ce fait a été rappelé par Volta, et c'est depuis ses célèbres travaux qu'on l'a ramené aux effets du courant électrique. A l'époque du galvanisme et de la pile, on découvrit que lorsque l'œil était sur le passage du courant, un éclair de lumière paraissait, et qu'en fermant le circuit d'une pile d'un certain nombre de couples à travers ses membres, il avait au point où le courant pénétrait, une douleur plus ou moins aiguë suivant la force

de la pile. Ces phénomènes furent connus par les premiers observateurs; mais c'est aux recherches de Lehot et surtout aux dernières découvertes de Marianini, que nous devons d'avoir établi la loi remarquable des sensations produites par le courant électrique. La voici : le courant électrique, lorsqu'il marche dans un nerf, dans le sens de la ramification, n'excite aucune sensation en entrant; c'est lorsqu'il cesse de passer qu'on éprouve la douleur; c'est le contraire lorsque le courant marche dans un sens opposé à la ramification du nerf, il excite la douleur en s'introduisant, et rien en cessant. Lehot avait obtenu ces résultats en employant la langue comme l'organe sur lequel la sensation se développait. Il posait sur la langue une plaque de zinc, il tenait avec ses doigts humectés une lame d'argent et il touchait avec cette lame, celle de zinc. Dans ce cas, il avait la sensation en détruisant le circuit, et il n'avait rien en l'établissant. Si, au contraire, la lame d'argent était posée sur la langue et celle de zinc, tenue dans la main, était portée sur l'autre d'argent, la saveur s'éprouvait en cessant de toucher. — Marianini a établi ce fait mieux encore que ses devanciers. L'importance de ces expériences est telle, que je crois utile d'en rapporter les détails. On prépare une grenouille de manière que ses membres inférieurs soient réunis au tronc par les seuls nerfs sciatiques qu'on met à découvert; si la préparation est bien faite, la grenouille est calme. On plonge les jambes postérieures dans un vase plein d'eau et les jambes antérieures dans un autre; la grenouille a ainsi la tête et la poitrine appuyées sur les bords d'un des verres.

On ferme alors le circuit électrique en plongeant l'un des pôles d'une pile dans un verre, l'autre pole dans l'autre verre. Si le courant est *direct*, c'est-à-dire dirigé de la tête aux pieds, de très-fortes contractions se réveillent,

en fermant le circuit, dans les membres postérieurs, et aucun signe de souffrance. L'animal reste tranquille tout en prolongeant le passage du courant pour une trentaine de minutes. Si le courant est *inverse*, la grenouille se contracte moins à la première introduction du courant, mais en continuant le passage, elle se gonfle, respire péniblement, et même quelquefois finit par cracher, donnant par là tous les signes de souffrance. — Le circuit étant interrompu, la grenouille se contracte, mais sans crier ou donner aucun signe de douleur. Marianini a vu aussi, sur d'autres individus, et en opérant de la manière précédemment exposée, que lorsque le courant *direct* cesse de passer, la grenouille pousse un cri profond, se soulève avec la poitrine et fait des contorsions. Ces expériences sont tellement importantes qu'il n'était pas sans intérêt de les répéter encore et sur des grenouilles et sur d'autres animaux. J'opère sur les grenouilles de la manière suivante : sur une planche de bois couverte de vernis, j'attache avec quatre petits clous, les quatre pattes d'une grenouille bien vivante; le bas-ventre de la grenouille doit toucher la planche. Je découvre sur cette grenouille tout le nerf crural et le sciatique, et j'enlève la peau, les muscles et l'os même de la cuisse. Ainsi la jambe reste attachée au tronc par le seul nerf. C'est sur cette portion (bien mise à découvert) du nerf que je fais passer le courant. En variant dans ces expériences, la force de la pile, depuis un jusqu'à trente couples, j'ai vu qu'on pouvait obtenir des effets permanents pour un temps assez long en accroissant le nombre des couples au fur et à mesure que la vie s'affaiblissait. Les résultats que j'ai pu constater sont les suivants : 1° Lorsque le courant est direct, son introduction est toujours accompagnée d'une forte contraction dans les membres postérieurs ; en ouvrant le circuit on a une

contraction bien plus faible que la précédente; la partie dorsale se plie, éprouve une espèce de secousse et quelquefois on entend la grenouille crier. 2° Si le courant est inverse, lorsqu'il entre, la grenouille plie le dos, se tourne sur ses flancs, sa respiration devient pénible, elle se gonfle et crache. Lorsque le courant cesse, on n'a que la contraction aux membres postérieurs. Sur une autre grenouille que j'avais préparée également, j'ai lié à la moitié le nerf crural. Voici les phénomènes qui eurent lieu : si le passage du courant avait lieu au-dessus de la ligature, je n'avais aucun phénomène en introduisant le courant *direct*; en ouvrant le circuit, j'avais une secousse au tronc, mais ni contorsion, ni gonflement. Quand le courant était *inverse*, j'observai ces phénomènes, mais plus marqués en introduisant le courant et rien en cessant. Lorsque le passage du courant avait lieu au-dessous de la ligature, je ne trouvais plus que la contraction en fermant le circuit avec le courant direct, et en l'ouvrant avec l'*inverse*. — Pour donner à ces résultats tout le degré d'exactitude qu'on doit exiger dans des phénomènes d'une si grande importance, j'ai voulu soumettre des lapins à ces expériences. Un habile anatomiste a bien voulu m'aider dans ces recherches. Un lapin fut lié par ses quatre pattes sur une table en bois avec le ventre tourné en dessous. On découvrit les deux nerfs courants de ses cuisses, et on les isola parfaitement en les tenant soulevés avec une baguette de verre. Voici les résultats obtenus en se servant d'une pile à auges de trente à soixante couples. En fermant le circuit, avec le courant direct je n'ai eu que de très-fortes contractions aux jambes; en l'ouvrant, une légère contraction, une forte secousse au dos, la tête s'est pliée et quelquefois il jeta un cri. En fermant le circuit avec le courant inverse, on a toujours un cri aigu, la contraction de la tête et tous les signes de la souffrance;

en ouvrant, une contraction. Sur deux autres lapins avec les mêmes résultats j'ai répété ces expériences. La masse des faits, en s'accordant entre eux, est donc bien suffisante pour conclure que tout courant électrique qui entre dans un nerf dans une direction contraire à la ramification du nerf, y produit une sensation de douleur, et que lorsque la direction du courant est la même que celle de la ramification du nerf, l'animal éprouve la douleur lorsque le courant cesse de passer.



CHAPITRE X.

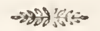
SUIVANT QUELLE LOI L'ACTIVITÉ DE LA GRENOUILLE DIMINUE.

Pour achever l'étude de l'action du courant électrique sur les nerfs, nous avons encore à étudier de quelle manière les nerfs perdent la faculté d'exciter des contractions et des sensations par le passage du courant électrique. Nous avons déjà parlé du phénomène des alternatives voltianes : c'est que dans ce cas, le courant électrique lui-même détermine dans les nerfs une nouvelle condition qui les rend moins sensibles à ce courant ; et, en effet, nous avons vu que le courant électrique lui-même, ou bien le repos, pouvait donner au moins en partie cette propriété aux nerfs. Sans le passage du courant, tout animal préparé, comme la grenouille, finit, après un certain temps, à ne plus ressentir l'action du courant. Quelle est la loi de cet affaiblissement ? Valli, le premier, a découvert qu'en soumettant un filet nerveux dans ces différentes parties au même courant, on trouve que la première partie qui devient insensible au courant, c'est-à-

dire, incapable d'exciter des contractions par le passage du fluide électrique, est celle qui est plus près de l'origine du nerf. Ritter a ensuite confirmé cette observation. J'ai répété plusieurs fois cette expérience et je l'ai constamment trouvée exacte. Sur une grenouille préparée à la manière ordinaire, je découvre le nerf crural et le sciatique, je touche ce nerf avec les extrémités d'un arc zinc et platine : cet arc est passé sous les nerfs et toujours disposé de manière que le courant marche directement dans le nerf. Dans les premiers instants, les contractions s'obtiennent, quel que soit le point touché. Après quelques minutes, en touchant le nerf près de son insertion dans la moelle épinière, les contractions sont à peine visibles, et dans peu de temps elles manquent entièrement. Si, au contraire, on touche le nerf près de son insertion dans la jambe, on la voit encore se contracter fortement. Si on attend encore quelque temps, on cesse d'avoir les contractions tout en touchant près des muscles; il faut alors découvrir une portion du nerf, qui est encore plus loin de la moelle épinière que toutes les autres, et on la trouve encore capable de se contracter. Il n'y a donc pas le moindre doute sur la réalité du fait. Voulant m'expliquer ce phénomène, j'ai cru d'abord qu'il était dû au desséchement du nerf, tout en comprenant bien difficilement pourquoi la partie près de l'origine du nerf devait se dessécher avant celle qui en était plus loin. Inutilement j'ai tenté de rétablir cette activité en mouillant le nerf avec de l'eau salée. J'avais aussi imaginé, que près du point où le nerf avait été coupé, une altération plus grande avait lieu; dans les autres parties, et comme dans la préparation de la grenouille, le nerf est coupé près de son origine, j'ai aussi supposé que c'était là la cause du phénomène. Il était aisé de s'assurer de la vérité de cette hypothèse. Il m'a suffi de préparer la grenouille, de décou-

vrir les nerfs sans la couper, en enlevant la peau, les viscères, et j'ai trouvé que sur cette grenouille. dont le système était intact, l'activité à se contracter par le courant souffrait la même loi dans son affaiblissement. C'est en cherchant encore à généraliser ce fait, que j'ai eu l'occasion de faire une observation très-curieuse et qui se lie parfaitement à tout ce que nous avons exposé des autres propriétés du nerf. La voici : je prends une grenouille très-vivace et je l'attache avec des clous qui traversent ses quatre pattes, sur une planche, le bas-ventre tourné en bas. Je découvre son nerf crural en enlevant les muscles de l'os de la jambe; la grenouille est donc préparée, comme dans les expériences de la section précédente. Je fais alors passer le courant à travers le nerf, en tenant les pôles, à la distance de trois ou quatre millimètres entre eux. La pile était de quinze couples et le courant dirigé dans le sens contraire à la ramification du nerf. Toutes les fois que le courant s'introduit, la grenouille pousse un cri; je change la position sur le nerf, et partout j'obtiens le même résultat. J'attends cinq minutes et je répète l'expérience; je trouve alors qu'elle crie moins fort lorsque je touche le nerf près de son insertion dans la jambe, que quand je touche le nerf près de la moelle épinière; j'attends encore cinq minutes et je reproduis l'expérience; alors plus de cri en faisant passer le courant inverse près de la jambe, tandis que, près de la moelle épinière, les choses se passent comme dans la première expérience. J'ai confirmé un grand nombre de fois cette curieuse observation, en me servant de deux nerfs d'une même grenouille, pour m'assurer sur l'un de la perte d'activité du courant direct à exciter des contractions, et sur l'autre par le courant inverse à exciter des sensations, et j'ai toujours observé le résultat suivant : la portion du nerf qui, à l'introduction du courant électrique direct,

trique direct, excite des contractions, s'éloigne d'autant plus de son origine, que l'animal s'affaiblit : inversement, la portion du nerf qui à l'introduction du courant inverse excite des sensations douloureuses, s'approche d'autant plus de l'origine du nerf, que l'animal s'affaiblit.



CHAPITRE XI.

CONTRACTIONS TÉTANIQUES.

Tous les physiciens qui ont fait quelques expériences sur les grenouilles, ont dû nécessairement en trouver qui, après avoir été préparées, se trouvaient dans un état de convulsion tétanique. Il faut, pour y réussir, préparer la grenouille rapidement et choisir un individu bien robuste. Il arrive alors très-souvent de la trouver prise de tétanos; j'ai encore observé la même convulsion sur un individu dans lequel j'avais introduit trois gouttes d'acide prussique par la bouche. Au moment que la grenouille a commencé à étendre ses jambes, je l'ai préparé et j'ai obtenu pour quelques minutes un tétanos bien tranché. On peut aussi produire cette espèce de convulsion à l'aide du courant électrique. Nobili s'est le premier aperçu de cette singulière action du courant électrique. Une grenouille étant préparée de la manière ordinaire, si l'on y fait passer le courant électrique d'un seul couple, de manière à renouveler les passages très-rapidement; il arrive alors que la grenouille roidit ses jambes; on la voit difficilement conserver cet état plus de quelques secondes; la chose la plus singulière, c'est la manière suivant laquelle le courant électrique parvient à détruire ou à conserver cet

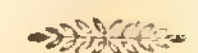
état. Voici le résultat d'une longue suite d'expériences que j'ai faites à ce sujet : dans tous les cas où j'ai obtenu le tétanos sur des grenouilles, le passage du courant *inverse* l'a fait disparaître ; lorsque ce courant cesse, le tétanos se reproduit ; le contraire a lieu pour le courant *direct* ; lorsqu'il entre, le tétanos augmente, et cette augmentation disparaît lorsque ce courant cesse, et le tétanos se maintient comme avant le passage. Engagé par des résultats aussi constants, j'ai voulu tenter l'application du courant électrique sur un homme tétanisé. L'histoire de cette application se trouve insérée dans le cahier de mai de la Bibliothèque universelle de 1838 ; malheureusement ce tétanos avait été développé par la présence de grains de plomb introduits, par un coup de fusil, dans les muscles d'une jambe, et on trouva, dans l'autopsie, une grande suppuration à la jambe, et la moelle épinière, dans sa dernière portion, considérablement ramollie. Le courant électrique de 30 à 40 couples, fut appliqué pendant deux jours, six fois par jour et une demi-heure à chaque fois ; le courant était dirigé de l'extrémité de la moelle épinière au cou ; le passage du courant faisait, au premier coup, disparaître entièrement la convulsion, le malade ouvrait la bouche, la circulation reprenait son cours naturel ; malheureusement ces améliorations n'étaient que passagères. J'engage les médecins à répéter des tentatives de ce genre. On doit prendre de grands soins pour que l'introduction du courant n'excite pas de contractions : on fait pour cela terminer les deux pôles de la pile par des bandes de toile qu'on mouille et qu'on applique lentement sur la peau ; il ne faut pas, dans cette application, se contenter d'un premier essai ; autant que le malade peut le souffrir, il faut prolonger le passage du courant.

CHAPITRE XII.

PARALYSIE.

Les premières expériences galvaniques firent naître l'idée d'appliquer à la cure des paralysies le courant électrique. On trouve une foule d'observations contradictoires qui ne méritent pas d'être examinées. C'est M. Marianini qui a le premier tenté de réduire à des bases scientifiques l'application de l'électricité à la paralysie. La méthode consiste à faire passer le courant électrique d'une manière interrompue, mais en tâchant que les décharges se succèdent très-près l'une de l'autre; c'est pour cela qu'on a trouvé maintenant très-avantageux de recourir aux machines électro-magnétiques. Les résultats obtenus par Marianini, quoique encore en très-petit nombre, nous font espérer beaucoup de l'application de l'électricité faite convenablement à la paralysie. N'ayant pas d'expériences propres sur ce sujet, je me limite à exposer des considérations qui pourront nous éclairer dans cette pratique. Nous devons comparer un membre paralysé à une grenouille que nous avons vue ne plus ressentir le passage du courant électrique, et cela, par le passage trop prolongé du courant dans un certain sens. A propos des alternatives voltianes, nous avons vu aussi de quelle manière on redonnait à la grenouille, fatiguée par le courant, et qui en était devenue insensible, le pouvoir de se secouer encore. Ce moyen consiste à faire passer le courant dans une direction opposée à celle qui a produit l'insensibilité, et à prolonger ce passage jusqu'à en fatiguer encore la grenouille; dans cet état, elle a repris la faculté de se contracter au passage du premier courant. Supposons maintenant que nous avons à appliquer

l'électricité à un membre paralysé, mais dont la paralysie consiste dans la seule partie du mouvement. Il me semble qu'en partant des principes que nous avons exposés, qu'on devrait commencer par faire passer le courant inverse, et comme l'action du courant semble plus forte en renouvelant les passages à des intervalles très-courts, on doit faire passer le courant par une suite de décharges ; on devra opérer inversement si la paralysie est dans la sensibilité du membre. Il y a encore un autre soin qu'il est peut-être utile de suivre en appliquant le courant électrique à la paralysie : c'est celui d'appliquer le courant dans le partie qu'on peut supposer encore plus sensible; c'est donc aux extrémités du nerf, si l'on applique le courant direct, ou près de l'origine, si c'est le courant inverse qu'on emploie; on aura enfin le soin de ne jamais commencer par des courants trop forts : c'est à la sensibilité de l'individu qu'il faut s'en tenir pour cela.



CHAPITRE XIII.

COMPARAISON ENTRE LE COURANT ÉLECTRIQUE ET LES AUTRES AGENTS STIMULANTS.

Après avoir parcouru les phénomènes principaux qui sont dus à l'action du courant électrique sur les nerfs des animaux vivants ou récemment tués, il faut, avant d'en exposer une théorie générale, faire ressortir ses rapports avec ceux dus à l'action des autres agents ou corps stimulants Tout le monde sait ce qu'il arrive lorsque sur un nerf mis à découvert on vient à appliquer un acide ou un corps chaud, ou si on le blesse d'une manière

quelconque. L'animal crie de douleur et les muscles se contractent ; c'est là le double effet que nous trouvons toujours en agissant sur les nerfs : la contraction aux muscles dans lesquels le nerf est ramifié, la sensation au centre nerveux. Nous avons vu que cette double action n'était pas le propre du courant électrique : c'était tantôt la sensation, tantôt la contraction, suivant que la marche du courant électrique qui entrait dans le nerf était *inverse ou directe.* Le courant électrique a donc une manière d'agir plus simple, plus élémentaire, et c'est là un point très-important d'analogie qui peut la rapprocher de l'agent inconnu qui fonctionne dans les nerfs. Lorsqu'on fait agir sur les nerfs des animaux vivants ou récemment tués, les agents stimulants que nous avons nommés, il arrive, qu'après un temps toujours très-court, ils finissent par ne plus ressentir l'influence du corps stimulant. Le courant électrique persiste plus longuement que les autres, et le même nerf qui est devenu insensible à un certain agent stimulant, l'est encore généralement pour le courant électrique. Une autre différence, non moins remarquable des deux précédentes, on la trouve dans l'influence du repos pour redonner au nerf la faculté de ressentir l'action du courant électrique. Lorsqu'un animal a perdu la faculté de se contracter, ou d'avoir des sensations par l'action trop prolongée d'un certain agent stimulant, il n'est plus capable, par le repos, de reprendre l'activité perdue. Quant au courant électrique, nous avons déjà vu que lorsque le passage continu du courant, dans un certain temps, n'excite plus des contractions dans l'animal, il suffit ou de le laisser un peu de temps en repos, ou de faire passer le courant en direction contraire, pour qu'il devienne capable de se contracter encore au passage du courant primitif. Une autre différence, qui mérite encore d'être signalée, c'est la faculté qu'ont certaines

substances à détruire l'action des agents stimulants. C'est ainsi qu'une grenouille, après avoir été soumise à l'acide prussique ou à la morphine, devient insensible à l'action des autres agents stimulants. Cela n'arrive pas pour le courant électrique : on trouve son action aussi forte avant qu'après le traitement par les poisons cités. Nous ajouterons encore une différence bien tranchée entre les agents stimulants ordinaires et le courant électrique. Toutes les fois que le courant électrique cesse d'agir sur les nerfs, l'animal éprouve ou une sensation ou une contraction, et cela suivant la marche du courant ; il n'y a rien de pareil par les autres stimulants. Je crois utile de résumer en peu de mots ces différences : 1° Il y a pour le courant électrique une séparation nette des effets, c'est-à-dire, qu'il produit, ou la contraction ou la sensation, dans des circonstances déterminées : pour les autres agents stimulants, il y a la production simultanée des deux phénomènes ; 2° la persistance de l'action sur les nerfs est plus grande pour le courant électrique que pour les autres agents ; 3° le repos ou l'action d'un courant électrique dirigé en sens opposé de celui qu'on fait agir sur les nerfs, rétablit dans le nerf l'activité primitive, ce qui n'est pas pour les autres agents ; 4° l'influence de certains poisons, comme l'acide prussique ou la morphine, détruit l'action des stimulants ordinaires sur les nerfs ; cela n'est pas pour le courant électrique ; 5° le courant électrique seul produit des contractions ou des sensations lorsqu'il cesse d'agir sur les nerfs ; rien n'est produit de semblable par les autres agents stimulants.

CHAPITRE XIV.

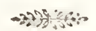
EXAMEN DES THÉORIES GÉNÉRALES ÉMISES POUR EXPLIQUER LES FONCTIONS NERVEUSES QUE NOUS AVONS ÉTUDIÉES.

Je ne rapporterai pas ici toutes les hypothèses qu'on a faites pour expliquer les fonctions nerveuses : on a eu d'abord recours à des forces vitales qui n'ont jamais existé que dans l'esprit des inventeurs de ces théories. Il est désormais temps que la physiologie devienne, comme la physique et la chimie, une science d'expériences et d'observations. Le premier essai d'une théorie physique, pour expliquer les contractions musculaires, en partant de l'idée que le fluide électrique est l'agent du système nerveux, se trouve dans les célèbres travaux de MM. Prévost et Dumas. On admet, dans cette hypothèse, que les filets nerveux se ramifient dans les muscles, se dirigeant perpendiculairement dans les fibres musculaires; cette disposition admise, si un courant électrique vient à parcourir les filets nerveux, il arrivera, par l'attraction des courants, que les filets nerveux devront se rapprocher et les fibres musculaires se plieront en zig-zag, comme dans la contraction; M. Prévost est revenu ensuite sur ce sujet. Cet habile physiologiste a eu la bonté de me montrer, avec un excellent microscope, la disposition des filets nerveux dans les fibres musculaires; ces fibres paraissent entourées par des epèces d'anneaux très-rapprochés. M. Prévost a observé que sur ces anneaux se jettent les filets nerveux et les enveloppent comme le feraient une suite d'anses; lorsque la contraction a lieu, ces anneaux s'attirent. J'ai désiré longtemps voir cette hypothèse confirmée par l'expérience, et je n'ai, autant que je l'ai pu, rien épargné pour y réussir. Malheureusement j'ai dû, malgré moi, me

convaincre qu'elle n'était pas la vérité. Un des plus grands obstacles que je me suis toujours présenté et que l'expérience n'a pas détruit, c'est celui de la nécessité dans laquelle on est, à la suite de cette hypothèse, d'admettre qu'une substance de matière isolante enveloppe les filets nerveux et les isole de la fibre musculaire; sans cela, on ne pourra jamais entendre comment le courant électrique est retenu dans les filets nerveux; l'expérience n'apprend rien sur ce point très-important : au contraire, nous trouvons la même conductibilité pour le courant électrique dans toutes les parties des animaux, et si quelque différence existe, c'est à l'avantage des parties chargées de liquide. Une seconde difficulté, qui n'est pas moins importante que la première, c'est celle qui vient de la nécessité d'admettre que le système nerveux spinal et cérébral forment un circuit électrique complet; sans cela, nous ne pourrons jamais concevoir l'existence d'un courant électrique. Il faut donc que deux filets nerveux, toujours isolés l'un de l'autre, viennent se terminer aux deux extrémités de la pile. Puisque l'observation microscopique de M. Prévost nous semble résoudre cette objection, tâchons donc de trouver ce courant électrique. Je ne rapporterai pas ici tous les essais infructueux faits par M. Nobili lorsqu'il eut découvert son galvanomètre, et ensuite par tant d'autres physiciens. M. Prévost, guidé par la disposition des filets nerveux, relativement aux fibres musculaires, imagina d'enfiler avec un fil de fer doux un muscle pareillement à la direction longitudinale de ces fibres; c'était là la célèbre expérience de l'aimantation du fer doux dans la spirale faite par M. Arago; dans ce cas, la spirale était composée par des filaments nerveux. C'est en faisant cette expérience que M. Prévost a cru voir, dans l'acte de la contraction, de la limaille de fer s'attacher au fil de fer

doux. Tout physicien, pour peu qu'il soit habitué à des expériences précises, ne peut prêter toute sa confiance à cette méthode. Il fallait donc s'y prendre autrement : j'ai commencé par tenir le fil de fer doux placé dans les muscles d'un lapin, très-près d'une aiguille astatique. Il n'y eut jamais de signes bien marqués de déviation, et quelquefois cela fut dans un sens et quelquefois dans l'autre; j'ai encore placé plusieurs fils de fer doux dans le même muscle; tous ces fils étaient contenus dans une spirale de cuivre bien vernissée et dont les extrémités étaient liées à un excellent galvanomètre. Au lieu de l'appareil précédent, j'ai encore employé une autre spirale dans laquelle était une aiguille à aimanter. J'ai encore introduit toute la cuisse d'une grenouille dans une double spirale en cuivre bien vernissée, et qui se terminait ou au galvanomètre ou à la spirale que nous avons déjà décrite. Tous ces essais, plusieurs fois répétés, furent inutiles pour découvrir l'existence du courant électrique dans les nerfs des animaux lorsqu'il y a contraction ou sensation. Désespérant d'obtenir ce courant électrique des nerfs, j'ai voulu au moins tenter de découvrir, à l'aide du courant électrique, si les nerfs étaient réellement disposés en spirale et si un courant extérieur introduit faisait cette route. J'ai donc fait passer le courant d'une pile à travers la jambe et la cuisse d'une grenouille; ces membres étaient contenus dans une spirale qui allait au galvanomètre ou bien à la spirale décrite; je n'ai obtenu aucun signe d'induction. J'ai enfin construit un appareil pour l'induction des charges électriques d'une bouteille : c'était une spirale qui avait une aiguille à aimanter dans son intérieur, et qui était disposée parallèlement à une aiguille astatique. C'est un appareil à peu près semblable à celui employé dernièrement par Marianini. L'induction des décharges d'une bouteille, même petite, y est très-

sensible; j'ai inutilement employé cet appareil en faisant passer la décharge d'une bouteille à travers les muscles d'une grenouille, contenus dans une spirale qui se terminait à l'appareil décrit. Il faut donc avouer que, malgré les recherches les plus minutieuses, il nous a été impossible de découvrir des courants électriques dans les nerfs des animaux lorsqu'ils éprouvent des contractions aux muscles, ou qu'ils transmettent des sensations au cerveau. Pour conclure que le courant électrique est l'agent de ces fonctions, nous attendrons que la science nous donne des moyens plus propres pour le démontrer[1].



CHAPITRE XV.

HYPOTHÈSE.

Maintenant, comment entendons-nous que le fluide électrique produise des contractions et des sensations?

J'ai longtemps médité sur cette question, et j'ai dû toujours retomber sur une idée qui me semble la plus générale dans l'état actuel de la science; elle explique parfaitement tous les phénomènes que nous avons exposés, et n'est nullement en opposition à ce que l'anatomie nous a fait connaître sur l'organisation du système nerveux et musculaire; cette hypothèse a été émise d'abord d'une manière générale par M. Becquerel : tous les faits que j'ai ajoutés et toutes les considérations et les rapprochements qui en sont découlés rentrent parfaitement dans ces idées.

[1] Nous avons appris depuis que M. Peltier avait eu les mêmes résultats négatifs, et qu'il les avait publiés dans les *Annales des sciences naturelles*, cahier de février 1838.

Il est possible que toute cette apparence de probabilité ne soit pas de longue durée ; je crois pourtant qu'elle mérite d'être exposée en peu de mots. Soit que le nerf soit formé d'une série de globules disposés en chapelet, soit que le nerf soit une espèce de tube creusé, avec un liquide dans l'intérieur, peu importe pour l'hypothèse que nous allons exposer. Rappelons ici une des propriétés bien constatée du courant électrique, c'est-à-dire celle d'être douée d'une action mécanique dirigée du pôle positif au négatif. Qu'on prenne une boîte et qu'on la sépare en deux par une membrane, ensuite qu'on verse un liquide peu conducteur dans les deux cavités ; si alors on fait passer le courant électrique en tenant l'un des pôles dans une cavité, et l'autre pôle dans la seconde, on verra, après quelque temps, le liquide considérablement augmenté dans la cavité où est le pôle négatif. M. Becquerel a fait voir aussi qu'en plongeant deux tubes de verre tamponés par de l'argile dans un vase d'eau, si on fait passer le courant à travers les deux tubes, l'argile du tube où est le pôle positif, sera poussée et répandue dans le liquide du vase. D'autres faits de ce genre ont été ajoutés ensuite. Concluons donc que le courant électrique est capable de pousser les corps qu'il rencontre sur sa route en les dirigeant du pôle positif au négatif. Supposons maintenant que ce phénomène ait lieu lorsque le courant électrique parcourt un nerf. Si ce mouvement a lieu de l'origine du nerf à ses extrémités, nous aurons la contraction ; s'il a lieu en direction contraire, nous aurons la sensation. Il ne faut pas que nous nous émerveillions du grand pouvoir de ce dérangement musculaire. M. Savart, dans un de ses célèbres travaux, nous a montré de quelle force est capable un ébranlement musculaire en apparence très-léger ; cela admis, le reste est facile à comprendre. En effet, il est naturel que lorsque le courant

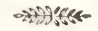
direct cesse d'agir, comme les grains nerveux reviennent à leur place en exécutant un mouvement dirigé des extrémités vers le cerveau, il y ait une sensation : le contraire pour le courant inverse. Le phénomène des alternatives voltianes est encore très-simple. En prolongeant le passage du courant, les globules ou grains nerveux parviennent aux limites de leur déplacement possible, et leur élasticité s'affaiblit; ils restent où le courant les a retenus pour longtemps. Ce n'est que le courant contraire qui peut les ramener à leur place. Le passage du courant, perpendiculairement à leur longueur, ne doit produire aucun effet. C'est enfin très-aisé à concevoir comment un nerf soumis au passage d'un certain courant ne soit pas excité par un courant plus faible qu'on fait passer avec le premier

---

SECONDE PARTIE.

Je dois maintenant m'occuper de l'exposition de tous les faits qui se rapportent à l'existence de l'électricité dans les animaux; je ferai cela avec la plus grande réserve. C'est ainsi que je me garderai bien de reproduire ici toutes les observations imparfaites qui se trouvent recueillies dans les traités du galvanisme, et qui malheureusement sont répétées dans les ouvrages de physiologie et de médecine. J'en ferai autant par rapport à cette foule de faits pathologiques par lesquels on a prétendu démontrer l'existence d'un état électrique animal. J'avoue que ces observations sont d'une très-grande importance, et qu'il y en a, surtout parmi les plus récentes, qui semblent dignes de toute la confiance. D'autres fois elles ne sont pas encore assez nombreuses ni bien constatées, et par conséquent elles ne doivent pas faire partie d'un ensemble scientifique. Je me limiterai donc à exposer les phénomènes de la torpille; n'ayant rien à ajouter à ce que nous ont appris les célèbres travaux de M. Humboldt sur l'histoire du gymnote ou anguille électrique, et au peu que nous connaissons du silure. J'ai continué pendant trois années de suite mes études sur la torpille; j'en ai eu à ma disposition plus de deux cents, qui m'étaient apportées bien

vivantes dans les ports de l'Adriatique, où je m'étais rendu. Après les phénomènes de la torpille, vient le courant de la grenouille decouvert par Galvani. Ce phénomène mérite d'être étudié avec le plus grand soin : c'est un fait électrique qui appartient décidément à la nature organique vivante. Enfin, j'exposerai les expériences tentées pour établir l'état électrique des organes secrétoires.



CHAPITRE I

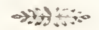
ESQUISSE HISTORIQUE DES PHÉNOMÈNES DE LA TORPILLE.

C'est un fait connu depuis l'antiquité, que la torpille donne des commotions lorsqu'on la touche encore vivante avec la main. Cette propriété lui a fait doner le nom vulgaire de *tremble*, *poisson magicien*, etc. Il est encore connu, parmi les pêcheurs, que la torpille donne la commotion volontairement, pour se défendre ou pour tuer les poissons dont elle veut se nourrir. Ils indiquent même la grande force de cette commotion, en disant qu'elle est assez considérable pour tuer les meuniers, qui sont les poissons de mer les plus vivaces et les plus hardis de nos contrées. C'est Musschenbroek qui a établi, le premier, la nature électrique de cette commotion. Walsh est le physicien qui, avant la découverte du galvanimse, a le plus étudié les poissons électriques. C'est ainsi que nous lui devons d'avoir découvert, d'une manière certainement incomplète, que le dos et le bas-ventre, ou les deux faces de l'organe, ont un état électrique contraire. Les recherches de Walsh se trouvent dans le vol. 63 (1773) des transactions de la

société royale de Londres. MM. Gay-Lussac et Humboldt ont enfin, mieux que leurs devanciers, décrit les circonstances principales de la décharge de la torpille. Les Italiens Redi et Lorenzini ont étudié les premiers ce poisson, sous le rapport anatomique, et surtout dans la disposition de l'organe électrique. Ce travail a été poursuivi dans tous les poissons électriques, par Hunter et Geoffroy-Saint-Hilaire. Galvani et Spallanzani découvrirent encore l'influence des nerfs du cerveau et de la circulation sanguine sur la décharge de la torpille. Le travail le plus important qu'on ait publié sur la torpille dans ces derniers temps, est dû à John Davy, frère du célèbre chimiste. C'est à lui que nous devons la découverte de l'action du courant de la torpille sur l'aiguille aimantée, de son pouvoir d'aimantation, de son action électro-chimique[1]. MM. Becquerel et Breschet, ont aussi, dans l'année 1835, fait quelques recherches sur la torpille. C'est au premier de ces deux savants que sont dus des moyens très-exacts pour étudier ce courant; c'est lui qui a fixé précisément la distance du courant extérieur. Quant au second de ces deux savants, nous attendons avec impatience la publication de ses travaux anatomiques. Enfin, l'année dernière, j'ai imaginé d'appliquer au courant de la torpille, l'appareil de l'extra-courant de Faraday, pour en tirer l'étincelle. J'ai fait connaître cet appareil, avec les modifications que j'ai cru nécessaires pour le but en question, à M. Linari de Sienne. Ce savant en fit quelque temps avant moi l'application; et c'est lui qui, avec mon appareil, a observé d'abord l'étincelle de la torpille. Nous avons publié ensemble cette observation que j'avais tout de suite confirmée. M. Linari est parvenu en-

[1] Ce travail, qui a paru en 1832, est spécialement important par la partie anatomique et d'histoire naturelle.

suite à obtenir l'étincelle sans l'appareil de l'extra-courant, et moi-même je décrirai un appareil très-simple que j'emploie depuis longtemps pour observer ce phénomène. Lorsqu'on réfléchit à la manière très-simple et facile à l'aide de laquelle on peut voir l'étincelle de la torpille, on reste surpris de la peine qu'on s'est inutilement donnée si longtemps pour l'obtenir. J'ai encore découvert et publié en même temps plusieurs faits physiologiques, tels que l'action de certains poisons, les décharges après la mort, l'action du dernier lobe, etc. M. Colladon a confirmé mes recherches dans un travail fait dans le même temps, et a ensuite exposé des idées ingénieuses sur la production de cette décharge électrique.



CHAPITRE II.

APPAREILS EMPLOYÉS DANS NOS RECHERCHES SUR LA TORPILLE.

Je décrirai en deux mots les appareils principaux que j'ai employés dans mes dernières recherches sur la torpille. Ce sont d'abord des galvanomètres construits suivant le modèle imaginé par M. Colladon. J'en avais un surtout qui était assez sensible; le fil de cuivre, de 1/4 de millimètre d'épaisseur, avait une double enveloppe de soie, et était recouvert encore d'une couche de vernis de gomme laque. Le fil faisait 600 tours autour de l'aiguille astatique. Aux extrémités étaient soudées deux lames de platine. Quoique le fil fût bien isolé, je n'ai jamais obtenu que de faibles traces de courant par la décharge d'une petite bouteille de Leyde. Un galvanomètre fait comme celui que je viens de décrire, est tout ce qu'il y a de mieux

pour étudier la décharge de la torpille. J'ai eu occasion d'employer, dans ces derniers temps, des galvanomètres dont le fil n'était isolé que par de la soie. Ils m'ont servi également. Plus sensible, c'est-à-dire, ayant un plus grand nombre de tours, il obéit aux actions électro-chimiques des lames de platine, et aux polarités secondaires; et si on oblige le courant à passer à travers une couche d'eau, c'est plutôt le courant de la torpille que le courant d'origine électro-chimique qu'on risque d'arrêter. L'autre électroscope que j'ai employé très-souvent, c'est la grenouille préparée à la manière de Galvani. Nous avons vu comment on peut s'en servir pour déterminer la direction du courant. Il faut pour cela couper la grenouille au point où les deux cuisses sont attachées, et faire circuler le courant électrique d'une patte à l'autre. Si la grenouille est un peu affaiblie, c'est toujours la cuisse par laquelle le courant sort qui s'agite lorsque le courant passe. L'appareil à l'aide duquel j'obtiens maintenant l'étincelle, sera décrit lorsque je parlerai de ce phénomène.



CHAPITRE III.

DES PHÉNOMÈNES DE LA DÉCHARGE ÉLECTRIQUE DE LA TORPILLE.

Toutes les fois qu'on prend dans la main une torpille vivante, on ne tarde pas longtemps à en ressentir une forte commotion, qui ordinairement peut se comparer à celle d'une pile à colonne de 100 à 150 couples, chargée avec de l'eau salée. Cette force est grandement affaiblie après un certain temps, même en conservant l'animal dans des vases d'eau salée. Ces décharges se succèdent avec

une très-grande rapidité, lorsque l'animal est encore tout vivant, et il est alors impossible de les supporter Il suffit, pour en donner une idée, de rapporter l'observation suivante, qui est commune parmi les pêcheurs, et que j'ai vérifiée moi-même. Lorsqu'ils soulèvent les filets et renversent les poissons dans la barque, ils commencent par les laver en y jetant dessus de grandes masses d'eau salée. Eh bien, on s'aperçoit à l'instant qu'il y a une torpille, par la secousse qu'éprouve le bras qui verse l'eau. Si alors on la prend dans la main pour l'essuyer, les décharges qu'elle donne sont tellement fortes et si rapprochées les unes des autres, qu'il faut l'abandonner, et le bras se trouve pour un certain temps engourdi. Ensuite elle cesse d'en donner, mais on est sûr d'en avoir une à l'instant où on la remet dans l'eau. Un fait qui mérite ici d'être rapporté, est celui de la diffusion extraordinaire dans un liquide qui est montrée par le courant électrique de la torpille. Tout près des parois d'une grande cuve large de $1^{m},50$ et plein d'eau salée, je tiens une torpille vivante avec la main. A l'extrémité opposée est suspendue dans l'eau, à peu près au même niveau, une grenouille préparée. Toutes les fois que la torpille se décharge, la grenouille se contracte fortement. Une pile d'une très-grande force ne produirait pas cet effet, surtout si on observe qu'une grande portion du courant circule par la main. Des mouvements à peine sensibles s'aperçoivent dans le corps de la torpille lorsqu'elle donne la décharge électrique. Je me suis assuré, par une expérience très-simple, qu'en effet elle peut se décharger sans qu'il arrive dans son corps aucun changement de volume. J'ai introduit, fig. 3, une torpille femelle de médiocre grandeur, large de $0^{m},14$, dans un bocal plein d'eau salée, et avec elle une grenouille préparée et posée sur son corps. Le bocal était

fermé exactement, et portait un tube de verre d'un diamètre très-petit. Après avoir bien luté le bouchon, j'ai fini de remplir d'eau le bocal, de manière que le liquide s'élevât dans le petit tube. La torpille donnait de temps en temps des décharges par un procédé particulier que je décrirai ensuite; la grenouille, en effet, se contractait; mais le niveau du liquide, dans le petit tube, était immobile.

Lorsque l'animal est doué d'une grande vitalité, on ressent la commotion dans quelque point de son corps qu'on le touche. Au fur et à mesure que la vitalité cesse, la région de son corps où la décharge est sensible, se réduit à celle qui correspond aux organes appelés communément électriques.

Je me suis assuré, par l'expérience, que la torpille n'a pas le pouvoir de diriger la décharge où elle veut et où elle est irritée. Elle se decharge *quand* elle veut, mais non *où* elle veut. On avait cru qu'elle pouvait diriger sa décharge où elle veut, parce qu'on avait ressenti la commotion dans la partie du corps qui touche la torpille, et parce que le point irrité du poisson est le point où il est touché; mais voici ce qui arrive. Si les décharges sont fortes, l'animal étant en pleine vie, elles se ressentent dans quelque point que la torpille soit touchée. Lorsqu'elle est affaiblie, et qu'on vient à l'irriter pour en avoir la décharge, ce n'est plus dans tous les points de son corps qu'on la ressent. En effet, j'ai couché plusieurs grenouilles préparées, sur plusieurs points du corps d'une torpille un peu affaiblie : je l'ai irritée, avec un couteau, à la queue, aux nageoires, aux branchies, etc. Les grenouilles qui sautaient étaient, dans tous les cas, celles que j'avais posées sur les organes électriques.

Au moyen de la grenouille seule, j'ai pu établir quelle

était, dans la décharge, la distribution de l'électricité sur le corps de la torpille. Pour que la grenouille, ou un corps quelconque, soient traversés par le courant électrique de la torpille qui se décharge, il faut toujours qu'ils en soient touchés en deux points différents. Si, par exemple, on prend une grenouille à laquelle on a laissé un seul filet nerveux crural, et qu'ensuite on touche la torpille avec la seule extrémité de ce nerf, en tenant la grenouille *isolée*, on ne voit jamais celle-ci se contracter, tandis que d'autres grenouilles posées sur le poisson souffrent de très-grandes contractions. Pour voir la grenouille *isolée* se contracter par la décharge de la torpille, il suffit qu'elle la touche par deux filets nerveux, ou par un nerf et un muscle, enfin, que deux points de la grenouille touchent deux points de la torpille. Si la grenouille n'est pas soutenue par un corps isolant, mais qu'au contraire elle communique avec la terre, on la voit alors se contracter, quand même elle ne toucherait la torpille que par la seule extrémité d'un filet nerveux.

Avec le galvanomètre, la distribution de l'électricité est très-aisément déterminée. Il suffit de promener les lames de platine du galvanomètre sur les différents points de l'organe électrique. Lorsqu'on veut des résultats comparables et exacts, il vaut mieux détruire l'un des organes, ce qu'on fait en le coupant tout-entier ou seulement les nerfs. On fait alors l'expérience sur l'organe laissé intact, sans avoir à craindre que la décharge de l'autre vienne à troubler celui qu'on étudie. Voici quelles sont les lois générales de cette distribution :

1° Tous les points de la partie dorsale de l'organe sont positifs relativement à tous les points de la partie ventrale.

2° Les points de l'organe sur la face dorsale, qui sont au-dessus des nerfs qui pénètrent dans cet organe, sont

positifs relativement aux autres points de la même face dorsale.

3° Les points de l'organe sur la face ventrale, qui correspondent à ceux qui sont positifs sur la face dorsale, sont négatifs relativement aux autres points de la même face ventrale.

Ces trois lois, qui sont établies sur un très-grand nombre d'expériences, expliquent très-bien tous les cas du courant, qu'on fait naître en touchant ou une seule face de l'organe dans deux points différents, ou bien les deux organes à la fois sur la même face, pourvu que les points touchés ne soient point symétriques.

J'ai encore déterminé de quelle manière le courant se meut dans l'acte de la décharge de la peau extérieure à l'intérieur de l'organe. Pour ces expériences, j'ai couvert de vernis mes lames de platine, de manière à en laisser à découvert seulement une bande très-étroite. On coupe l'organe horizontalement, on sépare avec une lame de verre les deux faces intérieures; ou bien on le coupe verticalement, et l'on y introduit plus ou moins profondément les lames de platine. On varie de toutes manières ces dispositions, et le résultat général est toujours le suivant : la lame positive du galvanomètre est toujours celle qui touche la peau dorsale, ou qui est le plus près de cette partie, relativement à la lame qui touche la peau ventrale, ou la partie intérieure de l'organe qui est le plus près de cette peau.

Il était important de bien connaître si, dans l'acte de la décharge, une portion du courant électrique est transmise par les nerfs qui vont à l'organe, et dans quelles conditions cela se fait. L'expérience était très-difficile. J'ai pour cela isolé le plus possible, sur une torpille très-mince, les quatre nerfs de l'organe, en enlevant toutes les parties

musculaires et cartilagineuses qui les enveloppent; j'ai tâché d'en découvrir de grandes portions. La torpille donnait encore de très-fortes décharges sur l'organe préparé. J'ai enfilé un de ces nerfs avec deux lames de platine pointues : il faut que les lames ne touchent que le seul nerf et qu'elles le touchent à la plus grande distance possible entre elles. Sur une torpille un peu grosse, on réussit à le tenir à 2 ou 3 centimètres de distance. On rattache ces deux lames aux extrémités du fil d'un galvanomètre très-sensible. L'expérience ainsi disposée, on irrite l'organe de la torpille, et on ne tarde pas à en obtenir la décharge. Le galvanomètre ne donne jamais aucun signe de courant. On conçoit que si le nerf était traversé par un courant dans l'acte de la décharge, une portion en serait absorbée par les deux lames. C'est là un fait que j'ai plusieurs fois constaté et que nous verrons être d'une grande importance par la suite.

En examinant l'intensité du courant avec le galvanomètre, on trouve qu'elle varie avec l'étendue des lames qui touchent les deux faces de l'organe.

J'ai voulu examiner encore quelle était la nature du courant de la torpille lorsqu'on la fait passer pendant plus ou moins de temps par une couche d'eau salée, ou par cette même couche séparée par un diaphragme métallique. Le principe général que j'ai découvert est le suivant : lorsque la torpille est douée d'une grande vitalité, au moment où on vient de la tirer de la mer, le courant qu'elle donne peut se comparer à celui d'une pile d'un grand nombre de couples, et chargée avec un liquide actif et bon conducteur. A mesure que la vitalité s'affaiblit, le courant de la torpille se rapproche toujours plus de celui d'une pile faible et d'un nombre de couples toujours moindre. Pour m'arrêter à une déviation du galvanomètre qui pût être com-

parable, j'ai procédé de la manière suivante. Je pose la torpille, à peine tirée de l'eau et essuyée, sur un plat métallique qui est isolé, fig. V. C'est le plat de l'appareil que je décrirai plus loin, et qui me sert à produire l'étincelle. Un autre plat métallique qui a un manche de verre, est posé sur la torpille. Des fils de cuivre sont soudés à ces plats, et vont se réunir où l'on veut. Pour avoir une déviation fixe, j'irrite la torpille, disposée comme nous l'avons dit, de manière qu'elle donne huit à dix décharges successives, et je prends la déviation finale à la moitié de l'oscillation. J'ôte ensuite la torpille, je la replonge dans l'eau de mer, et au bout de six à huit minutes, je la soumets de nouveau à l'expérience et ainsi de suite. Sur une torpille femelle très-vivace, large de 0m,18, j'ai fait l'expérience suivante. En établissant un circuit tout métallique j'ai eu une déviation de 80°. Ce même courant passant ensuite par une couche d'eau salée, longue de 0m,40, très-large et très-profonde, introduit par des électrodes de platine de 6 centimètres carrés, était à peine affaibli : la même torpille, après quelque temps, m'a donné 50° avec le circuit tout métallique, et 12° avec l'addition de la couche d'eau salée. Le courant d'une autre torpille déjà faible, me donnait 30° en passant par le fil métallique, et 6° en passant par la couche d'eau salée, longue de 0m,20, large et profonde de 0m,02, à la moitié de laquelle se trouvait un diaphragme de platine. Cette même torpille encore plus affaiblie m'a donné 12° dans le premier cas, et à peine des traces d'électricité dans le second cas.

Les phénomènes de décomposition électro-chimique, déjà obtenus par John Davy ont été peu étudiés par moi. J'exposerai seulement une manière très-simple de les produire. Elle consiste à fermer le circuit entre les deux

faces de l'organe avec une bande de papier imbibée d'une solution très-saturée d'iodure de potassium. Deux lames de platine sont interposées entre les surfaces de l'organe et les bords du papier. Après quelques décharges, les indices de la décomposition apparaissent.

L'étincelle électrique s'obtient très-aisément avec l'appareil que j'ai décrit. Des feuilles d'or sont appliquées, avec de la gomme, sur les deux boules métalliques. On tient ces deux feuilles à la distance d'un demi-millimètre, et, en mouvant légèrement le plat métallique supérieur, on irrite l'animal; dans le même moment les feuilles se meuvent, se rapprochent et s'éloignent presque simultanément. On ne manque pas de voir des étincelles très-brillantes éclater entre les feuilles d'or.



CHAPITRE IV.

DES CAUSES EXTÉRIEURES ET INTÉRIEURES QUI INFLUENT SUR DA DÉCHARGE DE LA TORPILLE.

J'entends par causes extérieures celles qui ne détruisent pas sensiblement l'organisation du poisson : c'est l'inverse pour les causes intérieures. J'en ferai l'exposition dans deux sections séparées.

Ire SECTION. — *Causes extérieures.*

La vie de la torpille se prolonge plus ou moins, suivant : 1° la masse d'eau de mer dans laquelle on la tient; 2° la température de cette eau; 3° enfin, le degré de l'irritation qu'on fait souffrir à l'animal et par laquelle

on l'oblige à se décharger très-souvent. J'ai réussi à prolonger la vie de la torpille jusqu'à trois jours dans ma chambre, en réunissant d'une manière favorable à l'animal les trois circonstances ci-dessus mentionnées. Il faut pourtant observer que les causes qui prolongent la vie de la torpille ne sont pas les mêmes qui accroissent l'activité de sa fonction électrique. Nous verrons dans cette section, que la fonction électrique et le prolongement de la vie de l'animal varient par l'effet des mêmes causes agissant d'une manière opposée. Parlons d'abord de la chaleur.

Dans une masse d'eau de mer, haute de presque un mètre et contenue dans un vase de 30 centimètres de diamètre, dont la température est à + 18° R., la torpille ne vit ordinairement que cinq à six heures au plus, en conservant toujours sa force électrique avec une activité plus ou moins grande. Si la température vient à s'abaisser, la fonction électrique cesse presque en même temps. J'ai pris deux torpilles femelles, pêchées au même instant, et d'une grosseur moyenne. L'expérience a commencé trois heures après que je les avais prises. On les a mises dans des quantités d'eau de mer égales, mais de température différente, l'une étant à + 18° R., l'autre à + 4° R. Au bout de cinq minutes la torpille plongée dans l'eau froide, ne donnait plus de décharges électriques quoiqu'on l'irritât, et ne faisait aucun mouvement; cinq minutes plus tard, on ne voyait presque plus de mouvement dans ses branchies : on l'aurait crue morte. L'autre torpille était parfaitement dans son état ordinaire. J'ai retiré la première de l'eau et l'ai mise avec l'autre. Une dizaine de minutes s'étaient à peine écoulées qu'elle avait déjà repris sa première force, tout à fait comme l'autre. J'ai répété sur le même poisson quatre fois de suite la même expérience, toujours avec le même succès, si ce

n'est qu'il demandait pour se rétablir un temps d'autant plus long qu'on l'avait plus longuement refroidi. J'ai vu une petite torpille mâle, large de six centimètres, transportée de nuit pendant dix heures dans une très-petite quantité d'eau de mer à la température de + 8° à 10° R.; elle arriva engourdie et presque morte. L'état où je la voyais me la fit retirer de l'eau, et mettre sur une table où tombait un rayon de soleil levant. Je la vis alors se mouvoir; je la remis dans de l'eau qui était à + 16°, et dans un instant, elle me donna la décharge électrique. Elle vécut pendant une heure. J'ai étudié l'action du réchauffement sur une autre torpille. C'était une torpille femelle, de dimension moyenne, et qui n'était même pas très-vivace. Je la mis dans de l'eau de mer que je pouvais échauffer à volonté. A mesure que la température s'élevait, j'avais soin de toucher l'animal. Il ne cessa jamais de donner de fortes décharges électriques. La température était à + 30° R., lorsque l'animal me donna cinq à six décharges électriques plus fortes qu'auparavant, qui durèrent quelques secondes; après quoi il mourut. J'ai prolongé le séjour d'une autre torpille dans de l'eau à + 26° R; elle continua de donner des décharges, mais elle ne tarda pas à y mourir. Si l'on a soin de la retirer tout de suite de l'eau chaude jusqu'à + 24° ou 26° R. et de la remettre dans de l'eau à + 18° R., on parvient à la rétablir. C'est une expérience que j'ai répétée plusieurs fois. — On peut très-bien expliquer cette action de la chaleur, sans recourir à des causes inconnues ou à des analogies trop éloignées. Les principes établis dans les grands travaux de Edwards sur la respiration, suffisent pour faire comprendre ce phénomène. Il n'y a qu'à admettre que l'activité de la fonction électrique est proportionnelle au degré d'activité de la circulation et de la respiration de l'animal. Le poisson plongé dans l'eau

froide, a la circulation presque arrêtée à l'instant, et une petite quantité d'air suffit pour entretenir son existence engourdie. Dans l'eau chaude, la circulation et la respiration prennent une très grande rapidité; mais le poisson doit bientôt mourir par l'effet de la diminution de l'air, dont la quantité n'est plus en rapport avec la nouvelle activité de ces deux fonctions.

Avant de commencer l'étude de la respiration de la torpille sous le rapport de sa fonction électrique, j'ai dû commencer par l'analyse de l'air dissous dans de l'eau de mer. Mon appareil était le même qui a été employé par M. de Humboldt dans son célèbre travail sur la respiration des poissons. L'analyse de l'air fut faite par la potasse et par la combustion du phosphore. J'ai répété plusieurs fois cette analyse, et j'ai observé de grandes différences dans les résultats, suivant les lieux de la mer où l'eau était prise, et suivant la température à laquelle elle était exposée. Je donnerai ici la composition moyenne de l'air contenu dans l'eau de mer près de la côte de Cesenatico, prise à $+13^{o}$ R. et à un pied au-dessous de la surface. 3500^{cc} d'eau m'ont donné 62,5 dixièmes de pouce cube anglais, équivalents à $101^{cc},87$. La composition pour 100 de ce mélange était : 11 d'acide carbonique, 60,5 d'azote, 29,5 d'oxygène. Cette composition a été constante relativement à l'oxygène et à l'azote; l'acide carbonique a varié de 0,08 à 0,27. La même eau de mer prise près de mon habitation, dans un petit réservoir qui débouchait dans le canal du port, à la température de $+22^{o}$ R., m'a donné la composition suivante : 3500^{cc} donnent 45 dixièmes de pouce cube anglais, dont la composition pour 100 du mélange est de 17,8 d'acide carbonique, 24,4 d'oxygène, 57,8 d'azote. Voyons maintenant quel est le changement apporté dans cette quantité d'air et dans sa composition, par la

respiration de la torpille. J'ai fait deux expériences en choisissant deux torpilles femelles d'une vitalité presque égale et d'une grandeur très-peu différente : l'une de ces torpilles a été plongée dans l'eau dont j'ai donné l'analyse; elle a été tranquille pendant quarante-cinq minutes à la température de + 22° R.; l'autre torpille a été dans la même condition, si ce n'est qu'on l'obligeait continuellement à donner la décharge. Les ayant retirées de l'eau encore vivantes, j'ai passé tout de suite à l'analyse de l'air contenu dans ces deux masses séparées d'eau de mer. Voici les résultats :

Air de l'eau de la torpille qui a donné les décharges.

3500cc ont donné 30,5 dixièmes de pouce cube anglais.

Composition.

Acide carbonique. . .	11	30,6
Azote.	19,5	69,4
Oxygène.	des traces	
	30,5	100

Air de l'eau de la torpille restée tranquille.

3500cc ont donné 33,75 dixièmes de pouce cube anglais.

Composition.

Acide carbonique. . .	12,50	37,8
Azote.	20,25	59,4
Oxygène.	1	2,8
	33,75	100

On voit donc que la torpille tourmentée a respiré plus que l'autre. L'oxygène absorbé est à l'azote absorbé, comme 100 : 59; l'oxygène absorbé à l'acide carbonique produit, comme 100 : 37,2. Dans la seconde torpille, la première proportion est de 100 : 57,50, la seconde de 100 : 45

C'est un résultat bien singulier, que de voir la torpille qui a plus d'action sur l'oxygène et l'azote, être en même temps celle qui développe moins d'acide carbonique. Le premier résultat s'explique très-aisément par l'accélération de la respiration et de la circulation de la torpille irritée.

Je décrirai encore une expérience qui confirme le principe déjà établi, c'est-à-dire que l'activité de la fonction électrique est proportionnelle à l'activité de la circulation et de la respiration de l'animal. J'ai pris une torpille mâle très-petite, qui était très-affaiblie : à peine de temps en temps la voyait-on opérer le mouvement respiratoire, et bien difficilement on en obtenait une décharge. J'ai introduit cette torpille sous une cloche pleine de gaz oxygène. A l'instant même l'animal s'agita, il ouvrit la bouche plusieurs fois, il fit de fortes contractions, et dans le même temps il me donna cinq à six fortes décharges électriques, puis il mourut.

Pour achever l'expositon de mes recherches sur les causes extérieures qui influent sur la décharge électrique de la torpille, j'ai encore à parler de l'action des poisons. J'ai pris trois grains de strichnine, et j'y ai ajouté quelques gouttes d'acide muriatique. J'ai introduit le muriate dans la bouche et l'estomac d'une grosse torpille très-vivante, large de vingt-cinq centimètres et longue de trente-deux. Au bout de quelques secondes, il y eut de fortes contractions à la moelle épinière; ensuite, avec ces contractions, il se fit quelques rares décharges très-fortes; dix minutes après, les décharges devinrent plus faibles, mais plus rapprochées l'une de l'autre; enfin les décharges cessèrent, et l'animal mourut dans de fortes contractions. Sa vie ne se prolongea certainement pas plus de dix à douze minutes. J'ai encore préparé, avec trois grains de morphine et des gouttes d'acide muriatique, le muriate de morphine. La

torpille que j'ai employée dans cette expérience était encore plus grosse que l'autre, mais elle était moins forte; huit à dix minutes après l'introduction du poison, elle commença à donner par elle-même, sans être irritée et sans la moindre contraction, des décharges extraordinairement fortes; l'aiguille du galvanomètre était dans une agitation continuelle. Dans dix minutes, elle ne donna certainement pas moins d'une soixantaine de ces fortes décharges. Après ce temps, les décharges spontanées cessèrent, et il fallait alors, pour les obtenir, irriter l'animal dans la bouche et dans les branchies; il vécut ainsi tranquillement plus de quarante minutes, en donnant toujours des décharges plus ou moins fortes.

Parmi les causes extérieures qui influent sur la décharge électrique de la torpille, il faut mettre encore l'irritation qu'on produit en elle en la comprimant dans les différentes parties de son corps. Le frottement sur les branchies est une des manières les plus sûres d'avoir la décharge, comme l'est encore la compression de l'organe dans le point qui correspond au passage des nerfs. La décharge a presque toujours lieu encore lorsqu'on plie le poisson, de manière que le bas-ventre devienne concave. Enfin la compression des yeux et de la cavité qui est placée au-dessus du cerveau ne manque jamais de donner lieu à de fortes décharges électriques. Si les nerfs qui s'introduisent dans cette cavité et qui traversent les muscles de l'œil sont liés ou coupés, cette compression ne produit plus la décharge.

Le courant électrique doit encore être placé parmi les causes extérieures qui déterminent la décharge de la torpille. Un courant de trente couples zinc et cuivre, larges de 5 centimètres, chargés avec une solution nitro-sulfurique, donne lieu à de fortes décharges de la torpille, chaque fois qu'on le fait passer de la bouche aux branchies,

à la peau ou dans l'intérieur de l'organe. J'ai prolongé la durée du passage du courant, pour voir quel effet était produit lorsqu'il cessait de circuler. Je n'ai rien aperçu dans ce cas. L'application extérieure du courant, telle que je l'ai décrite, soit directement, soit inversement, produit le même effet.

IIe SECTION. — *Causes intérieures.*

J'ai déjà dit que, par causes intérieures, j'entends celles qui modifient l'organisation. J'en partagerai l'étude entre trois parties du corps de la torpille.

1° *La substance propre de l'organe et les parties musculaires, cartilagineuses, etc., qui le recouvrent et l'environnent.* — Je rappelle ici ce que j'ai dit plus haut, que pour mieux étudier ces phénomènes, j'ai toujours eu soin de détruire la fonction de l'un des organes ; j'indiquerai bientôt de quelle manière on peut y parvenir.

On peut enlever toute la peau de l'organe, celle du dos ou celle du bas-ventre, sans que la décharge électrique souffre de diminution dans l'intensité. J'ai coupé l'organe à la moitié, soit horizontalement, soit verticalement, j'ai introduit une lame de verre pour séparer les deux tranches coupées, et la décharge électrique continuait encore à se faire. J'ai coupé l'organe de manière à en laisser une moitié attachée à l'autre par une petite tranche : la décharge arrivait encore de l'une à l'autre, pourvu qu'elles comuniquassent encore entre elles par une branche nerveuse intacte. J'ai vu une petite torpille mâle, très-vivace, large de 12 centimètres, dont je suis parvenu à couper en plusieurs fois les trois quarts de l'organe : eh bien! chaque fois qu'on recommençait de couper, les décharges arrivaient avec une intensité toujours croissante.

Ce n'est que par deux moyens que je suis parvenu à détruire la fonction électrique, en agissant sur la seule substance de l'organe. Ces deux moyens sont : le contact des acides minéraux concentrés et la chaleur de l'eau bouillante. Après avoir enlevé la peau supérieure de l'organe, j'ai mouillé la substance interne avec de l'acide sulfurique, et à l'instant j'ai obtenu de fortes décharges. Au bout de quelques minutes, la substance de l'organe est devenue blanche et coagulée. Alors il m'a été impossible d'en tirer de nouvelles décharges. Ce même effet est produit par l'acide muriatique. Si l'on plonge dans de l'eau bouillante une torpille à laquelle la peau dorsale de l'un des organes a été enlevée, on a, à la première impression de la chaleur, des décharges très-fortes. Mais si on prolonge cette immersion pendant quelques secondes seulement, la décharge cesse, et la substance de l'organe est encore coagulée. Il faut faire cette expérience de manière que la torpille ne plonge dans l'eau bouillante que par l'organe qu'on a écorché. C'est ainsi qu'on parvient à la sauver. — Opérant de cette manière, il m'est arrivé de faire une observation curieuse que je crois utile de rapporter. Une des torpilles qui avait perdu la fonction électrique dans l'un de ses organes, après avoir été tenue plongée pendant quelques secondes dans l'eau bouillante, fut remise dans de l'eau de mer, où elle vécut presque deux heures. La substance de l'organe n'était plus ni blanche ni coagulée, elle avait repris ses propriétés ordinaires, sans être pourtant devenue capable de donner la décharge.

J'ajoute, enfin, que j'ai coupé en deux ou trois points l'arc cartilagineux qui environne l'organe, les tubes sécrétoires qui se réunissent en faisceaux, l'arc cartilagineux qui est sur les branchies, que j'ai détruit complétement la cavité, pleine d'une substance analogue à celle de l'or-

gane, qui est au-dessus du cerveau, sans avoir obtenu le moindre affaiblissement dans la force de la décharge électrique. J'ai obtenu le même résultat en coupant tous les muscles et les tendons qui environnent l'organe.

2° *Les nerfs qui se rendent dans l'organe.* — C'est un fait que Galvani et Spallanzani avaient déjà observé depuis longtemps, qu'en coupant les nerfs de l'un des organes, la décharge cesse de ce côté, tandis qu'elle continue du côté opposé. J'avais encore établi, dans mes recherches de l'année dernière, qu'il ne suffisait pas de couper un, deux, trois de ces nerfs pour détruire entièrement la décharge, qu'il fallait pour cela les couper tous les quatre.

J'ai observé que la décharge de la torpille, lorsqu'on lui a coupé deux ou trois de ces nerfs des organes, se limite aux points dans lesquels se trouve ramifié le nerf qu'on a laissé intact. Lorsqu'on a soin d'essuyer parfaitement la peau de la torpille, on voit très-bien avec le galvanomètre cette limitation de la décharge.

La torpille peut vivre longtemps, même après que les nerfs de l'organe ont été coupés. En effet, j'ai coupé trois nerfs de l'organe droit à une torpille femelle très-petite et très-vivace. Après l'opération, la peau fut réunie et cousue, et le poisson, lié par la queue, fut mis dans le canal de Cesenatico : c'était le 27 juillet, à trois heures après midi. L'animal mourut dans la soirée du 28, après environ trente heures de vie. Le changement apporté dans la substance de l'organe était grand dans la partie où se ramifient les trois nerfs coupés : elle y était tellement amincie et atrophiée, qu'il était impossible de la reconnaître; la substance des troncs nerveux était devenue pulpacée, le reste de l'organe était intact.

Il n'est point nécessaire de couper les nerfs pour détruire la décharge électrique, il suffit de les lier; avec un

peu d'habitude on y réussit très-aisément. Le même phénomène que nous avons vu en coupant les nerfs, s'observe si on se borne à les lier.

Lorsque les nerfs ont été coupés, et que par là toute fonction électrique a été détruite, si on tire avec une pince un de ces troncs nerveux qui sont attachés à l'organe, on obtient encore quelques décharges électriques. Il faut, pour que cette expérience réussisse, que la torpille employée soit très-vivace. Dans ce cas le phénomène ne manque pas d'avoir lieu. Des observations plus précises ont fait découvrir un phénomène singulier. Sur une torpille très-vivace, si on sépare un des organes avec ses quatre nerfs attachés, et si, une fois la peau bien essuyée, on pose plusieurs grenouilles préparées sur la surface de l'organe; on voit alors, en irritant tantôt un des nerfs, tantôt un autre, une certaine grenouille sauter et les autres rester tranquilles. On ne tarde pas à découvrir qu'on a de cette manière une décharge partielle de l'organe; celle de la portion de l'organe dans laquelle est distribué le nef irrité.

En mouillant avec une solution très-concentrée de potasse les troncs nerveux de l'organe mis à découvert, la décharge disparaît sans que la substance nerveuse soit altérée, du moins en apparence.

3° Enfin *le cerveau*. — Avec la lame d'un rasoir peu aiguisé je découvre très vite le cerveau d'une torpille. Si l'aninal est encore très-vivant, on observe ce qui suit: toutes les fois qu'on touche avec une plume, une pince, un tube de verre, etc., le cerveau de la torpille, la décharge électrique ne manque pas d'avoir lieu. On ne tarde pas à apercevoir quels sont les véritables points de cet organe dont l'irritation produit la décharge. Il vaut mieux, pour cette étude, que la torpille soit un peu affaiblie. Les pre-

miers lobes (cérébraux) peuvent être irrités, coupés, détruits tout à fait, sans que la décharge cesse d'avoir lieu. Les lobes qui suivent les premiers donnent lieu, lorsqu'on les touche ou qu'on les blesse, à de fortes contractions musculaires, et quelquefois même, si l'animal est très-vivant, à des décharges électriques : pourtant on peut les couper sans que cela détruise la décharge. Le troisième lobe peut être irrité, blessé, enlevé tout à fait, sans contraction et sans que la décharge électrique cesse encore.

Le dernier lobe du cerveau, que je regarde comme un renflement de la moelle allongée, de laquelle partent les nerfs qui vont à l'organe, est la seule partie du cerveau qu'on ne puisse toucher sans avoir de très-fortes décharges électriques. Celle-là détruite, toute décharge électrique devient impossible, quand même on laisserait le reste du cerveau intact. J'ai coupé sur une autre torpille, la moelle allongée au point où elle sort du cerveau, c'est-à-dire après qu'elle a donné les nerfs aux organes. De fortes décharges et contractions musculaires ont lieu lorsqu'on fait cette opération , mais la décharge électrique continue toujours lorsqu'on touche le dernier lobe, que j'appellerai désormais le *lobe électrique.* La décharge électrique conserve une grande force, même après qu'on a coupé un gros faisceau nerveux formé par les premiers nerfs de la moelle épinière, et qui, partagé en deux branches, entoure l'organe en passant au-dessus et au-dessous de l'arc cartilagineux.

Les organes de la fonction électrique se réduisent donc au dernier lobe du cerveau, à ses nerfs et à l'organe proprement dit. L'action de ce dernier lobe sur la fonction électrique est *directe.* C'est ainsi que, si on touche la partie droite du lobe électrique, c'est l'organe droit qui

donne la décharge. Le contraire arrive, si c'est la partie gauche qu'on touche.

Je passe à la description des expériences que j'ai faites sur la torpille morte. J'appelle morte, la torpille, lorsque ses branchies ne font plus de mouvements, et que, irritée, blessée et comprimée, extérieurement et intérieurement, hors certains points du cerveau, elle ne donne plus de décharges électriques. Je ferai remarquer en passant que la torpille n'est pas assez morte, au moins selon la définition qui précède, même quand on a coupé ses gros vaisseaux sanguins, et détruit ainsi la circulation. Dans ce dernier cas, on obtient encore quelques décharges électriques en irritant l'animal. — Qu'on prenne donc une torpille morte, comme je l'ai dit, et qu'on en découvre le cerveau. La première expérience que je rapporterai était connue depuis mon travail de l'année dernière. Si l'on touche le lobe électrique, les décharges apparaissent, et bien plus fortes que celles que l'animal donnait étant vivant. Les autres parties du cerveau, quoique irritées, ne produisent aucune décharge. L'action du lobe électrique est *directe*, et le courant de la décharge est dirigé comme à l'ordinaire, du dos au bas-ventre. Un certain temps étant écoulé, on fait cesser les décharges, simplement en touchant le lobe électrique; mais les décharges apparaissent encore si ce lobe vient à être blessé. Ce qui est encore plus extraordinaire, c'est que les décharges que j'ai obtenues par la blessure du lobe électrique sont *indifféremment* dirigées du dos au bas-ventre, ou du bas-ventre au dos. J'en ai observé plusieurs, l'une à la suite de l'autre, dirigées dans ce dernier sens. Les décharges que j'obtiens par la blessure du lobe électrique ne sont qu'au nombre de quatre ou cinq; après cela, tout phénomène électrique est à jamais détruit. J'avais donc raison de conclure que la

direction de la décharge de la torpille dépend du cerveau.

Il me reste maintenant à exposer quelle est l'action du courant électrique appliqué sur le cerveau et sur les nerfs de l'organe de la torpille. C'est là la partie que je regarde comme la plus importante de ces recherches. La pile que j'ai employée était à colonne, dont les couples, zinc et cuivre, avaient 4 centimètres de surface. Le liquide de la pile était de l'eau de mer avec un dixième d'acide nitro-sulfurique. C'est toujours une pile de vingt couples que j'ai employée.

J'ai découvert le cerveau d'une grosse torpille qui, quoique affaiblie, était encore vivante. J'ai introduit le réophore négatif de platine dans l'organe, sur la partie dorsale et près du bord extérieur. La torpille était couverte de grenouilles préparées, et deux galvanomètres étaient déposés, comme à l'ordinaire, sur les deux organes. Je commence par toucher légèrement, avec une pince, le lobe électrique; j'obtiens plusieurs décharges; mais dans peu de secondes elles cessent, même en le touchant. Alors je porte le réophore positif sur la partie droite du lobe électrique, c'est-à-dire du même côté où se trouvent le réophore négatif. A l'instant il y a décharge de l'organe. — Je crois important d'assurer dès l'abord le lecteur, que cette décharge, démontrée par les convulsions des grenouilles et par le galvanomètre, n'est pas due à une portion du courant de la pile qui parcourt les grenouilles et le galvanomètre. En effet, j'ai acquis, par d'autres expériences, la certitude que le même courant, qu'on fait passer dans d'autres parties du corps de la torpille, hors de l'organe et dans les mêmes conditions, ne donne aucun signe, ni aux grenouilles, ni au galvanomètre. J'ai coupé une torpille au milieu de son corps, de manière qu'il ne restât aucune partie des organes électriques attachée au côté inférieur.

Le galvanomètre et les grenouilles préparées étaient disposés sur cette dernière partie du corps de la torpille. Le courant de la même pile a passé de la moelle épinière aux muscles de la queue, sans exciter aucune contraction dans les grenouilles, ni donner aucun signe au galvanomètre. Cette moitié de la torpille était, au contraire, fortement agitée à chaque passage du courant. Je reprends maintenant la première expérience. — Si, au lieu de toucher avec le pôle positif la partie droite du lobe électrique, on touche la gauche, c'est l'organe gauche qui se décharge, et c'est là une nouvelle preuve que ces décharges sont effectivement de la torpille. En effet, les grenouilles et le galvanomètre de l'organe gauche ne sont même pas compris dans le circuit de la pile. Si le réophore positif touche tout entier le lobe électrique, les deux organes se déchargent à la fois. Qu'on vienne maintenant à changer la direction du courant, c'est-à-dire, que le pôle positif soit introduit dans l'organe, et que le négatif touche le lobe électrique : il y a alors de fortes contractions musculaires, et *point de décharge* des organes. Le galvanomètre et les grenouilles ne se meuvent pas, et c'est encore une preuve que les décharges obtenues précédemment sont véritablement propres à la torpille. J'ai renouvelé encore l'action directe du courant électrique, et quoique l'animal fût beaucoup affaibli, les mêmes phénomènes se sont reproduits, c'est-à-dire, il y avait décharge de l'organe à chaque passage du courant électrique. Il faut bien observer que si la torpille est douée d'une grande vitalité, les décharges s'observent encore pendant un certain temps, lorsque le courant est inverse, c'est-à-dire qu'il va de l'organe au cerveau.

J'ai voulu étudier encore quel était l'effet de la ligature des nerfs de l'organe. Dans cette expérience, j'ai lié les quatre nerfs de l'organe droit d'une autre torpille, grosse

et très-vivace ; j'ai découvert le cerveau, et j'ai répété l'expérience précédente. Lorsque le courant marchait directement, il n'y avait aucune décharge de l'organe ; quand il marchait en sens inverse, je n'ai observé que de très-faibles contractions, et c'est là encore une preuve de la véritable nature des décharges dont j'ai parlé. J'ai répété ces expériences sur quinze individus, toujours avec le même résultat, en laissant les nerfs intacts, quelquefois en les coupant ou les liant, et en ayant toujours soin de commencer le passage du courant, après m'être assuré que le contact du réophore de platine, sans qu'il fût attaché à la pile, ne donnait lieu à aucune décharge de l'organe. Il est bien juste d'observer que ces décharges produites par le courant n'ont pas la force de celles que l'animal donne lorsqu'il est vivant; mais elles ne diffèrent certainement pas des dernières décharges qu'on tire de la torpille morte, en touchant légèrement son lobe électrique. En effet, les déviations du galvanomètre sont, dans ce cas comme dans l'autre, de 5 à 6 degrés ; mais elles suffisent pour montrer clairement la déviation dans son sens ordinaire, c'est à-dire, du dos au bas-ventre. Enfin, j'observerai encore que jamais on n'a les indices de la décharge de l'organe en touchant avec le pôle positif des muscles, la peau, le liquide du cerveau, etc., tous points qui ne diffèrent pas du lobe électrique par leur position et leur conductibilité, ce qui est encore une preuve de la véritable nature des décharges précédentes.

L'action du courant électrique sur les nerfs de l'organe est encore importante, et mérite d'être décrite avec le plus grand soin. J'ai séparé, fig. IV, un des organes d'une torpille qui était encore vivante : c'était une torpille femelle très-grosse, la plus grosse de toutes les 116 torpilles que j'ai eues ; elle pesait 6 livres (3 kil.). L'organe a été séparé

sans détacher la peau. Je n'ai fait que couper les nerfs et les branchies, en tranchant circulairement toutes les parties qui environnent l'organe du côté de la tête. Il me restait ainsi l'organe avec ses quatre nerfs, qui, un peu tirés en dehors, en ressortaient de 2 ou 3 centimètres. Tout cela a été mis sur une lame de verre. Alors, après avoir déposé le galvanomètre et les grenouilles sur l'organe, comme à l'ordinaire, j'ai introduit le réophore négatif dans la substance de l'organe, près du bord extérieur, et avec le réophore positif j'ai touché l'un des quatre nerfs qui étaient étendus sur la lame de verre. A l'instant, il y a eu déviation de 4 degrés dans le galvanomètre, dans le sens du courant ordinaire de la torpille, et de fortes contractions dans les grenouilles. En touchant les autres nerfs, les mêmes phénomènes ont lieu. Je touche la substance de l'organe qui est entre les nerfs, et cela en plusieurs points, tels que la peau ou quelques morceaux de muscles attachés, et aucun phénomène n'a lieu. J'ai réuni les quatre nerfs sur une lame de platine, et c'est en touchant cette lame que les phénomènes précédents, qui indiquent la décharge de l'organe, se sont reproduits avec le plus d'intensité. Je suis parvenu encore à couper la ramification de l'un des nerfs avec la substance dans l'intérieur de l'organe, en laissant intact le tronc nerveux extérieur. Si ce tronc vient à être touché par le pôle positif, les indices de la décharge manquent. J'ai lié les nerfs, et les décharges ont manqué encore quand le courant passait. En répétant plusieurs fois ces expériences, et sur plusieurs individus, il m'est arrivé quelquefois de voir le phénomène de la décharge, en touchant avec le pôle positif la substance de l'organe; mais une légère attention m'a montré chaque fois qu'il y avait toujours contact du pôle avec quelques-uns des filets nerveux répandus dans l'organe. La différence

qu'il y a entre l'action du courant électrique sur les nerfs seulement, et son action sur le cerveau, réuni par les nerfs à l'organe, mérite d'être remarquée. Nous avons vu que, dans ce second cas, le courant inverse n'excitait aucune décharge. Le contraire arrive lorsque les nerfs et la substance de l'organe sont seuls parcourus par le courant électrique. Il y a décharge de l'organe quand le courant va des nerfs à l'organe, et il y a encore décharge lorsque la marche du courant est contraire. Le galvanomètre dévie toujours dans le même sens, et cela établit encore mieux que c'est la décharge propre de la torpille qui se produit. Si les torpilles sont mortes depuis quelque peu de temps, l'action du courant électrique que nous avons décrite, sur les nerfs et l'organe, et sur le cerveau réuni à l'organe, est entièrement détruite, et on tâcherait inutilement de la reproduire par un plus grand nombre de couples. Ce résultat, qui arrive après un certain temps, et qui dépend du degré de vitalité de l'animal et du traitement variable qu'on lui a fait subir, peut, au besoin, servir encore à prouver l'exactitude de mon assertion. Telle est, suivant moi, l'importance des faits que j'ai rapportés, que j'ai fait tout ce que j'ai pu pour dissiper tous les doutes qu'on aurait pu conserver sur la nature des décharges obtenues par le passage du courant électrique. Voici de quelle manière j'obtiens ce résultat : une torpille bien vivante a été préparée en enlevant avec un rasoir la peau et les muscles qui couvrent les quatre nerfs qui vont à l'organe. On peut alors les isoler assez exactement. Des grenouilles sont disposées sur l'organe, et les deux lames de platine unies au galvanomètre. Maintenant, au lieu de faire passer le courant électrique des nerfs à l'organe, je ne touche plus qu'un seul de ces nerfs. Je tiens les deux pôles de la pile, parfaitement isolée de la torpille, à deux ou trois centimètres

de distance. A l'instant de fortes contractions dans les grenouilles, et une déviation très-sensible dans l'aiguille du galvanomètre, dans le même sens que celui de la décharge ordinaire. Je renverse aussitôt la direction du courant, et j'obtiens les mêmes phénomènes; j'ai les mêmes contractions dans les grenouilles et la même déviation dans le galvanomètre. Je pose les pôles de la pile sur la substance même de l'organe, sur les muscles qui l'environnent; le courant passe, mais la grenouille et le galvanomètre ne fait voir aucun signe de décharge. On obtient, de cette manière, la limitation de la décharge par la surface de l'organe, suivant que le courant passe ou dans un nerf ou dans l'autre, la portion de l'organe qui se décharge est celle dans laquelle est ramifié le nerf parcouru par le courant électrique. Je n'ai pu découvrir aucune différence dans les résultats, suivant que le courant est transmis directement ou inversement, la ligature de ces nerfs détruit aussitôt l'influence du courant électrique transmise au-dessus. Ce fait suffit pour établir la véritable nature de ces décharges.

Le quatrième lobe agit comme les nerfs. Si on y fait passer le courant électrique, on obtient les mêmes décharges, et ces phénomènes cessent, si les nerfs sont liés. Il m'est arrivé quelquefois, en opérant sur des torpilles très-minces, d'observer les signes de la décharge à l'instant qu'on détruisait le passage du courant transmis, ou par le quatrième lobe ou par les nerfs. Je n'avais plus qu'une expérience à faire pour enlever tous les doutes sur ces résultats. J'ai préparé plusieurs grenouilles, et j'en ai placé deux ou trois sur les cuisses et les jambes d'une autre. Le contact avait lieu avec les nerfs (fig. 7). Je fais passer le courant de la pile par les nerfs de la grenouille qui porte les autres : elle se contracte fortement, sans que les autres

donnent aucun signe. Il faut, pour que cela arrive, qu'elles soient comprises dans le circuit électrique.

J'ai cru encore important de déterminer le pouvoir conducteur pour l'électricité de la substance nerveuse et de celle de l'organe. J'ai fait cela avec l'exactitude qu'il est possible de porter dans ce genre d'expériences. J'ai employé un galvanomètre double, et j'ai fait passer les deux courants par une tranche de la substance de l'organe, et par cinq à six troncs nerveux de la torpille réunis. Je me servais de la pile de vingt couples. La conductibilité m'a semblé toujours plus forte pour la substance de l'organe, et cela me paraît bien aisé à concevoir.

CONCLUSIONS.

Lorsqu'on réfléchit, 1° qu'aucune trace d'électricité ne se trouve dans l'organe sans qu'il se décharge; 2° qu'on peut détruire la peau, les muscles, l'arc cartilagineux qui entoure l'organe, et une grande partie de la substance même de l'organe, sans que la décharge cesse ou même s'affaiblisse; 3° que des poisons narcotiques déterminent de fortes décharges électriques; 4° que l'irritation du lobe électrique du cerveau, après la mort, donne de très-fortes décharges électriques; 5° qu'en tirant et comprimant les nerfs seulement, on a la décharge; 6° que de fortes contractions musculaires s'observent dans les parties qui environnent l'organe, sans que la décharge ait lieu; 7° que la blessure du lobe électrique du cerveau détermine les décharges dont la direction n'est plus constante du dos au bas-ventre, mais va quelquefois du bas-ventre au dos; 8° enfin, aux derniers faits que j'ai rapportés sur l'action du courant électrique, — il est impossible de ne pas en tirer les conclusions suivantes :

1° L'élément nécessaire à la décharge électrique de la torpille et à la direction de cette décharge, est produit par le dernier lobe du cerveau, et transmis par les nerfs dans la substance de l'organe.

2° Il en résulte que ce n'est pas dans l'organe et par l'organe que cet élément est préparé.

3° Toute action extérieure qui est portée sur le corps de la torpille vivante, et qui détermine la décharge, est transmise par les nerfs du point irrité au quatrième lobe, et de là par les nerfs à l'organe.

4° Toute action externe portée sur le quatrième lobe ou sur les nerfs, ne produit d'autres phénomènes que la décharge électrique.

5° Le rapport qui existe entre le quatrième lobe et les nerfs, d'une part. et le système de l'organe, de l'autre, est le même que celui qui existe entre un nerf et les muscles dans lesquels il est ramifié : dans un cas décharge, dans l'autre contraction. Les mêmes modifications, produites par différentes causes, ont lieu pour ces deux effets si différents.

6° Le courant électrique agit sur les nerfs également, soit pour produire des contractions, soit pour produire la décharge dans la torpille.

7° Enfin, tandis que toute autre action extérieure stimulante a déjà cessé de déterminer la décharge de la torpille, par son action sur le quatrième lobe ou sur ses nerfs, ce pouvoir se conserve encore pour le courant électrique.

Nous pouvons donc conclure d'une manière positive que la force quelconque qui fonctionne dans le système nerveux, est transformée en électricité, à l'aide d'une organisation spéciale qui se trouve naturellement dans des animaux. Le courant électrique qui agit sur les nerfs de la

torpille, et qui détermine la décharge, nous représente un agent stimulant qui exerce son action dans un degré supérieur à tous les autres : c'est donc le courant électrique, l'agent le plus propre à remplacer l'élément nerveux.

CHAPITRE V.

ANALYSE CHIMIQUE DE LA SUBSTANCE DE L'ORGANE.

J'ai analysé la substance de l'organe d'une torpille de moyenne grandeur, après l'avoir dépouillée de toutes les membranes, des muscles et des gros troncs nerveux qui y sont attachés. J'ai commencé par déterminer la quantité d'eau qu'elle contient, et j'ai procédé par la méthode ordinaire. Dans une première expérience, j'ai obtenu, de 1120 parties de substance, 104 de produit desséché; dans une seconde expérience, de 1307, 136 parties desséchées. La quantité moyenne d'eau se réduit ainsi à 903,4 sur 1000 de la substance de l'organe. L'analyse du produit desséché a été faite en le traitant avec de l'alcool à 36°, et en renouvelant trois fois cette dissolution avec des intervalles de 24 heures. J'ai repris le résidu par le même alcool bouillant, et j'ai renouvelé deux fois ce traitement. Enfin, le reste a été traité par l'eau bouillante, et ensuite par l'acide acétique concentré. Voici le résultat : gr. 6,65 du produit desséché m'ont donné :

gr. 3,171 substance dissoute dans l'alcool froid (A).
0,893 substance dissoute dans l'eau bouillante (B).
2,587 substances insolubles dans l'alcool (C).

Les produits A et B se composent de muriate de soude,

de lactate de potasse, d'acide lactique, d'extrait de viande de Berzélius, de phocénine, d'une substance grasse, analogue à l'élaïne du cerveau, et enfin d'une substance grasse, solide à la température ordinaire. Le produit C est formé presque entièrement d'albumine et de quelques traces de gélatine.

Lorsqu'on évapore la solution alcoolique obtenue à froid, il se forme d'abord des couches cristallines, puis des gouttes d'une huile jaunâtre : celles-ci se déposent au fond du liquide. Ce liquide est extrêmement acide, et forme un précipité avec une infusion de noix de galle. En évaporant toute la solution, il reste une masse jaune-verdâtre, huileuse, très-acide et déliquescente. Elle se dissout presque entièrement dans l'eau, en faisant une espèce d'émulsion. Elle dégage une odeur d'huile de poisson rance. La potasse dissout la substance grasse, détruit l'odeur et neutralise le liquide; l'acide tartrique ajouté rétablit l'acide gras, et donne par l'évaporation et la distillation, de l'acide lactique et phocénique. Le produit de l'alcool bouillant donne encore de l'acide lactique et une substance grasse solide, qui, traitée par l'acide nitrique, donne des traces de soufre et de phosphore. La substance insoluble dans l'alcool, bouillie dans de l'eau distillée, donne une solution d'un blanc sale qui se trouble par le bichlorure de mercure; l'infusion de noix de galle y donne un précipité floconneux qu'on dissout en partie en chauffant le liquide. Enfin, le résidu est soluble, surtout à chaud, dans les acides et dans les solutions acides alcalines. Ce n'est que de l'albumine pure [1].

[1] Lorsque la substance desséchée de l'organe est traitée par trois fois avec l'éther froid, et qu'on évapore la solution, on obtient une matière grasse, jaunâtre, d'apparence nacrée, qui se dissout faiblement dans l'éther et l'alcool froid; elle est sans saveur, d'une odeur fade,

La substance albumineuse qui recouvre le cerveau, ne diffère de la substance de l'organe que par une plus grande quantité d'eau.

Il me serait impossible de ne pas faire remarquer l'analogie qui existe entre la composition de la matière cérébrale, et celle de l'organe électrique de la torpille, que nous venons d'analyser.



CHAPITRE VI.

Si l'on excepte les phénomènes des poissons électriques, le fait le plus remarquable parmi ceux qu'on a voulu rapporter à la physiologie électrique, est le fait découvert par Galvani, de la contraction obtenue en repliant les muscles de la jambe d'une grenouille préparée, sur ses nerfs cruraux. C'est véritablement un grand fait, et dont toute l'importance n'a pas été reconnue. Volta, auteur de la célèbre doctrine électro-motrice, contre laquelle ce fait était jeté par l'école de Bologne, commença d'abord par le nier, et, tout en l'admettant par la suite, il le fit dépendre de l'hétérogénéité de la substance tendineuse et nerveuse, et de la présence d'un liquide animal quelconque interposé. Nous savons maintenant quelle importance on peut accorder à une telle explication, et nous verrons par la suite que les hypothèses émises après celle de Volta, ne peuvent non plus résister à un examen approfondi, ni s'accorder avec les faits postérieurement découverts.

et se saponifie par la potasse; brûlée et calcinée dans un creuset de platine, elle laisse une cendre acide, et, traitée par l'acide nitrique bouillant, elle donne des traces d'acide sulfurique et phosphorique. C'est donc de la stéarine cérébrale.

Je commencerai par exposer, en peu de mots, quel était l'état de la science, sur ce point, avant que j'eusse commencé à m'en occuper. — Aldini, en poursuivant les recherches de son oncle, rapporte, dans son *Traité du Galvanisme*, quelques expériences dans lesquelles il obtint les contractions de la grenouille préparée, en faisant communiquer les nerfs et les muscles de cet animal par l intermédiaire d'autres animaux et de son propre corps, etc. Nous verrons par la suite que tout corps conducteur, métallique ou liquide, interposé entre les muscles et les nerfs d'une grenouille, et à travers lequel la circulation du courant électrique peut s'établir, détermine ce courant et par conséquent la contraction. Le célèbre de Humboldt obtint aussi ces contractions en interposant entre le nerf et les muscles un morceau de substance musculaire, et, selon lui, ces contractions manquent lorsque le muscle touché est celui de la cuisse. Quarante ans se sont écoulés sans nous apprendre rien de nouveau à ce sujet; et c'est à M. Nobili que nous devons d'avoir nettement déterminé que ces contractions sont dues à un courant électrique dirigé des muscles aux nerfs dans la grenouille.

SECTION Ire. — *Des diverses parties du corps de la grenouille qui développent le courant électrique, et des propriétés de ce dernier.*

Je commencerai par décrire la méthode que j'ai employée pour appliquer le galvanomètre à la grenouille. — Pour me mettre à l'abri des courants qui pourraient être développés par les lames de platine, j'opère de la manière suivante. Je prends quatre capsules de porcelaine, que je remplis d'eau légèrement salée ; je plonge dans les capsules extrêmes les lames de platine, liées à un galvanomètre de

2500 tours de M. Gourjon, et je réunis ces deux capsules aux deux moyennes, par de grosses mèches de coton bien mouillées; enfin, je plonge dans les deux capsules moyennes la grenouille préparée ou vivante. Pour la préparer vivante, il faut enlever la peau des jambes, couper longitudinalement celle des flancs, et retirer avec des pinces en verre les nerfs cruraux. — Il n'est pas pas nécessaire, pour obtenir le courant de la grenouille au galvanomètre, que les deux parties de son corps plongées dans les capsules soient uniquement les nerfs et les muscles ou tendons de la jambe. Ainsi, sans couper la grenouille comme on fait pour la préparer, on peut se borner à lui enlever la peau tout entière, et à plonger les jambes dans une capsule, la tête et le dos dans l'autre; on voit alors s'établir un courant aussi intense que le courant obtenu avec les nerfs et les muscles, et toujours il est dirigé des pieds à la tête. Ce courant se fait reconnaître encore aux contractions de la grenouille même, quand on replie la jambe sur le dos, sur les yeux, sur la moelle épinière. Il s'obtient de même en enlevant tout à fait les nerfs cruraux, et même la partie de ces nerfs qui est cachée dans les muscles de la cuisse, en plongeant d'un côté la jambe, de l'autre les muscles de la cuisse tout préparés. La déviation de l'aiguille du galvanomètre est aussi forte qu'avant, et toujours dans la même direction. Il n'est pas non plus nécessaire de toucher la partie tendineuse de la jambe : on peut très-bien l'enlever, toucher avec les nerfs les muscles de la jambe ainsi séparée du tendon, et les contractions et les signes du galvanomètre ont également lieu. Les muscles de la cuisse peuvent aussi produire des contractions et des courants très-sensibles au galvanomètre. L'observation du baron de Humboldt est très-juste, relativement à la partie extérieure des muscles de la cuisse; mais une fois séparés et déchirés, si on les

touche avec les nerfs, les contractions et les déviations du galvanomètre apparaissent tout de suite, et toujours dans la même direction.

Passons maintenant aux propriétés du courant de la grenouille. Les contractions n'arrivent en général, comme on l'a déjà observé, qu'au contact des nerfs et des muscles. Il y a pourtant des individus très-vivaces qui se contractent encore quand le contact est détruit. J'insisterai sur une expérience qui peut jeter quelque jour sur la cause et la marche de ce courant. Qu'on prépare une grenouille à la manière de Galvani, et qu'on coupe l'os qui réunit les deux cuisses, tout en laissant les deux nerfs cruraux attachés à un morceau de moelle épinière. On a alors les deux membres détachés, et l'on peut à volonté porter la jambe en contact avec son nerf ou avec celui de l'autre jambe. Il importe beaucoup de noter le fait qu'on va observer. D'abord, si le nerf touché est celui de la jambe qui le touche, les contractions sont très-fortes au contact; mais très-rarement on en obtient lorsque le contact est détruit, et si l'on en obtient dans ce cas, ces contractions ne persistent que pendant très-peu de temps. Si le nerf touché est au contraire celui de l'autre jambe, les choses se passent différemment. Quand le contact s'opère, c'est la jambe du nerf touché qui se contracte; l'autre reste tranquille. Ces contractions sont plus faibles que dans le premier cas. Quand on détruit le contact, la jambe dont le nerf a été touché reste tranquille, et la contraction a lieu au contraire dans la jambe qui a touché. Il faut, à ce propos, que j'ajoute une observation qui n'est pas moins importante. — Tous les individus qui présentent ce phénomène, présentent aussi constamment la contraction lorsqu'un courant électrique ordinaire est introduit *directement*, et la contraction, quand ce même courant, marchant *inversement*, cesse de

passer. Il est donc juste de conclure que, lorsqu'on touche avec une jambe de la grenouille le nerf de l'autre jambe, le courant circule directement dans le nerf touché, et inversement dans les muscles et dans le nerf de la jambe qui touche. Dans le cas des contractions qu'on produit en repliant la jambe sur son nerf, la contraction doit être bien plus forte, vu la moindre longueur du trajet; et si le courant est inverse dans une partie du nerf, il est direct dans la partie d'où il passe au muscle. Du reste, cette marche inverse d'une grande partie du courant de la grenouille est peut-être la cause du peu de durée des contractions qu'il produit, tandis que les signes du galvanomètre se prolongent, comme nous le verrons, pendant un temps bien plus long.

On peut encore observer au galvanomètre le courant de la grenouille, tout en détruisant la communication naturelle du nerf avec la jambe. Je coupe l'articulation qui réunit la jambe à la cuisse, je plonge dans une capsule la jambe, dans l'autre la cuisse avec son nerf, et c'est en réunissant, par une mèche de coton mouillée ou directement, les surfaces du membre coupé, que j'obtiens au galvanomètre une déviation très-sensible et toujours dirigée dans le même sens. Le courant de la grenouille ne devient sensible qu'à un galvanomètre d'un grand nombre de tours. J'ai fait traverser à ce courant une couche d'eau salée longue d'un décimètre, sans apercevoir un affaiblissement sensible; ce courant est, par conséquent, capable d'une action électro-chimique. Sans donner aucune importance à ce fait en lui-même, je tiens à le faire remarquer, comme le seul qui puisse nous conduire à déterminer la marche du courant lorsqu'on replie la jambe sur son propre nerf, cas dans lequel nous fermons le circuit sans le galvanomètre. Je prends un morceau de papier joseph imbibé

d'une solution de iodure de potassium, et j'en couvre le tendon d'une jambe d'une grenouille très-vivace et récemment préparée. Je replie la jambe sur le nerf, et je produis une suite de passages et, par conséquent, de contractions. Après quelques secondes, je vois la couleur jaunâtre apparaître sur les filets nerveux. C'est donc du nerf que le courant sort pour entrer dans le muscle au point de leur contact. On peut s'assurer très-aisement qu'aucune coloration n'apparaît sur le nerf d'autres grenouilles également préparées par la simple immersion dans le iodure de potassium.

Il me reste enfin à établir si, dans les phénomènes électriques de la grenouille, il s'agit d'une décharge instantanée, ou bien d'un courant continu. Les contractions de la grenouille, qui cessent aussitôt le contact établi, ne signifient rien à ce propos : tout courant continu n'excite des contractions que lorsqu'il entre dans les membres d'une grenouille, ou bien lorsqu'il cesse de les parcourir. Il fallait donc faire parler le galvanomètre : voici comment les phénomènes se passent avec cet instrument. — Lorsqu'on plonge les nerfs et les jambes d'une grenouille préparée, dans les deux capsules où se trouvent les lames de platine du galvanomètre, on a une déviation qui, dans mon instrument, parvient à 25° ou 30°. L'aiguille revient aussitôt sur elle-même, commence à osciller, et, après un certain nombre de secondes, se fixe à 3°. Cette dernière déviation est très-lente à s'affaiblir, et, après un quart d'heure, on trouve l'aiguille à 2°. Si, alors, on ôte la grenouille et qu'on remette tout de suite à sa place une mèche de coton bien mouillée, on voit une déviation de 15° à 20° en sens contraire de la déviation produite par le courant de la grenouille. Cette déviation passée, on remet la grenouille, et la déviation reparaît comme auparavant. On peut reproduire

ces phénomènes un grand nombre de fois. J'ai conservé des grenouilles pendant cinq à six heures, et même pendant un jour dans de l'eau, et j'en ai toujours obtenu des déviations qui étaient, bien entendu, toujours plus faibles. Une fois donc qu'un arc conducteur quelconque est établi entre les muscles des jambes et les nerfs, ou les autres parties du corps de la grenouille que nous avons vue être propre à exciter les contractions, il circule un courant électrique continu, dirigé des jambes aux nerfs, dans l'intérieur de la grenouille, et c'est aux polarités secondaires développées sur les lames de platine du galvanomètre, et peut-être sur les membres de la grenouille même, qu'est dû *en grande partie* l'affaiblissement du courant.

Section II. — *Des causes qui modifient le courant de la grenouille.*

Nous avons vu qu'il est possible de conserver, pendant un temps plus ou moins long dans les grenouilles préparées, la propriété d'exciter des contractions par le contact de certaines parties de leur corps, et de produire des déviations au galvanomètre. Ces deux ordres d'effets diffèrent grandement dans la durée : ainsi il faut un individu bien vivace pour qu'une demi-heure après avoir été préparé, il donne encore des contractions par son courant; les signes au galvanomètre, au contraire, se conservent avec la même énergie durant un espace de temps cinq à six fois plus long. Si les contractions cessent, ce n'est donc pas que le courant propre manque entièrement, mais c'est un double effet de l'affaiblissement de ce courant, et surtout de l'activité de la grenouille à se contracter. Je rappelle ici un fait que j'ai découvert l'année dernière, et qu'on réussit toujours à observer : tandis que le nerf crural est devenu

incapable d'exciter les contractions par son contact avec les muscles de la jambe, on trouve le nerf sciatique, caché dans les muscles de la cuisse, encore propre à produire de très-fortes contractions. En répétant cette observation, j'ai pu m'assurer qu'une telle propriété tient à l'excitabilité du nerf, dont l'affaiblissement se propage en commençant par son origine jusqu'à ses ramifications. Ritter avait déjà aperçu cette loi en employant l'électricité voltaïque. — Lorsque les contractions ont disparu, il est possible de les rétablir en touchant le muscle avec certaines substances. Celles que j'ai reconnues comme les plus convenables sont une solution de potasse et une solution d'acide hydrochlorique. Toutes les fois qu'on a une grenouille qui, bien que fraîchement préparée, ne donne pas de contractions par le contact du nerf et du muscle, ou qui commence à s'affaiblir, ou qui a perdu cette propriété par l'effet de moyens artificiels que nous exposerons tout à l'heure, il suffit de passer sur la jambe un pinceau mouillé dans une des deux solutions assez concentrées pour voir tout de suite des contractions très-fortes au contact. L'application de ces mêmes substances sur le nerf n'est pas constamment suivie de la reproduction des contractions. La déviation du galvanomètre nous marque dans ces cas un courant qui est toujours dirigé des pieds à la tête, quelle que soit la solution employée, l'alcaline ou l'acide. J'insiste sur cette dernière considération pour ôter aussitôt toute idée que ce soit à une action électro-chimique que ce courant est dû.

Une autre cause qui modifie grandement le courant propre de la grenouille, c'est son état tétanique. Il arrive très-souvent avec des individus vivaces, qu'en les préparant rapidement, on les voit étendre leurs jambes et les roidir de telle sorte qu'il devient impossible de les plier; on peut aussi, avec une solution de strichnine ou de l'ex-

trait de noix vomique, déterminer en peu de secondes la convulsion tétanique. L'influence du tétanos est telle que le courant propre manque toujours lorsque la grenouille en est attaquée. Nous n'avons plus de contractions, ni de signes au galvanomètre. Si l'animal a été tué par le poison, on ne réussit plus à en obtenir; mais si, au contraire, le tétanos a été produit par l'iritation qu'on a donnée à la grenouille en la préparant, une fois que les convulsions sont passées, les signes du courant propre apparaissent encore.

L'effet de l'application du froid sur la grenouille est encore remarquable. Nous avons trouvé qu'une grenouille vivante refroidie, perd la faculté de se contracter par son courant propre, et qu'elle la reprend lorsqu'on la réchauffe, pourvu qu'on ne l'ait pas refroidie trop longtemps. Je me suis assuré que, toutes les fois qu'on fait perdre à une grenouille la faculté de se contracter par son courant, en la tenant dans la glace pendant quelques minutes, elle perd aussi la faculté de donner la déviation au galvanomètre. Ce n'est donc pas l'activité nerveuse qui manque, c'est vraiment le courant; et, en effet, qu'on passe de l'acide hydrochlorique ou de la potasse sur la jambe, et si la grenouille est encore froide, on la verra fortement se contracter.

L'influence de la ligature du nerf mérite encore d'être observée. Une fois le nerf lié, si l'on touche les muscles avec le nerf au-dessus de la ligature, toute contraction a disparû; elle subsiste en touchant au-dessous. Le courant d'une couple (alcali et acide) passait du nerf au muscle, ou, dans le sens opposé, à travers la ligature, et produisait la contraction. J'ajouterai qu'en plongeant dans une capsule la partie du nerf supérieure à la ligature, celle devenue incapable de déterminer la contraction, on trouve les signes au galvanomètre presque entièrement

disparus. Comme il est impossible de plonger le nerf sans introduire en même temps ou de la moelle épinière, ou des muscles, on voit qu'on ne peut pas réussir à faire disparaître entièrement le courant.

Enfin, j'achèverai l'exposition de ces recherches sur le courant de la grenouille, en faisant remarquer que les contractions obtenues sur l'animal vivant sont toujours plus faibles que lorsque l'animal a été préparé; que, quoique l'animal soit bien vivant, elles disparaissent en très-peu de temps pour reparaître ensuite, lorsqu'on vient à les exciter dans la moelle épinière. J'ai vu aussi, bien souvent, des grenouilles devenues incapables de se contracter par l'action de leur courant propre, reprendre cette activité quand on avait coupé ou effilé leur moelle épinière.

Section III. — *De la cause du courant de la grenouille.*

Les explications qu'on a données de cette production d'un courant électrique dans le corps de la grenouille, peuvent se réduire à deux. Dans l'une, ces courants ont une origine thermo-électrique, c'est-à-dire sont dus à l'inégale température du muscle et du nerf; inégalité produite, suivant cette hypothèse, par la différence de l'évaporation de ces deux parties de l'animal. Quiconque a parcouru avec un peu d'attention les recherches contenues dans ce mémoire, s'apercevra bien aisément qu'il est impossible de donner du courant de la grenouille une explication plus contraire aux faits. Un courant qui n'est sensible qu'à un galvanomètre d'un circuit extrêmement long, qui traverse sans perte des couches liquides, longues d'un décimètre, qu'on obtient en faisant toucher muscle et muscle, qui se produit enfin en tenant les membres plongés dans l'eau, n'est certainement pas un courant thermo-

électrique. — Dans l'autre hypothèse, on admet que c'est à une action électro-chimique que ce courant est dû, en recourant à des alcalis et à des acides qu'on suppose fixés sur les différents organes, et agissant chimiquement à travers les tissus intermédiaires, tout à fait comme la potasse et l'acide nitrique dans la jolie pile de M. Becquerel. Cette hypothèse, tout insoutenable qu'elle est d'après nos recherches, mérite pourtant un examen plus approfondi que l'autre. La première difficulté qui se présente est celle de la direction du courant de la grenouille. On a beau faire passer sur les nerfs, sur les muscles, sur toute la grenouille découverte, les papiers réactifs, on ne trouve nulle part les plus petites traces d'acide ou d'alcali libre. Il faut encore ajouter que, le courant allant du muscle au nerf dans la grenouille, on devrait supposer le muscle chargé d'alcali, et le nerf d'acide, ce qui est tout à fait contraire à leur composition chimique. Comme le courant s'obtient entre les muscles de la jambe et ceux du dos, il faudrait encore supposer, dans la même substance organique, d'une part de l'alcali, de l'autre de l'acide. Enfin, comment expliquer, dans cette hypothèse, l'action du tétanos, du froid, de la ligature, de la potasse et de l'acide hydrochlorique indifféremment? — Il faut avouer franchement que nous ignorons tout à fait la cause de ce courant, et tout ce que nous pouvons faire, guidés par l'analogie, c'est de rapprocher la cause inconnue qui produit l'électricité dans la torpille, de celle qui la développe dans la grenouille. Dans la torpille, nous avons un organe destiné à condenser cette électricité, à la transformer en une décharge électrique puissante. Dans la grenouille, nous avons un degré excessif d'excitabilité, et le plus faible courant électrique détermine chez elle des contractions. Ce n'est pas pourtant qu'il n'y ait que dans ces deux animaux

des traces de courant électrique. J'ai fait plusieurs essais sur d'autres animaux récemment tués : le courant électrique s'est montré dans tous, et dirigé dans le même sens.

Section IV. — *De l'état électrique des organes des sécrétions.*

M. Douné a découvert que si l'on touche, avec les fils d'un galvanomètre, et dans le même temps, la langue et la peau, l'estomac et le foie, on a un courant électrique dirigé dans le fil du galvanomètre de la peau ou de l'estomac, à la langue ou au foie. M. Douné a admis que ce courant était d'une origine électro-chimique, et qui était dû à l'action exercée à travers les tissus par les liquides acides et alcalins contenus dans les organes des sécrétions. En répétant les expériences de ce savant physiologiste, j'ai cru reconnaître l'existence de ces courants, après avoir neutralisé l'acide de l'estomac et l'alcali de la salive. Il m'a paru aussi que ces courants disparaissaient presque immédiatement par la mort de l'animal. C'est à la suite de ces observations que j'ai conclu que les organes des sécrétions possédaient, eux, un état électrique par lequel les sécrétions avaient lieu.

J'ai dernièrement répété ces expériences, et poursuivi l'étude de ce sujet. J'avoue que les nouveaux résultats auxquels je suis parvenu, sans confirmer la théorie que j'en ai donnée, me semblaient encore opposés à l'explication que M. Douné en donne. C'est ainsi qu'un courant très-fort existe, en touchant à la fois l'intérieur du duodénum, de l'intestin grêle et du cœcum, et le foie : ce courant est dirigé dans le galvanomètre du foie aux intestins. Pourtant, la substance des intestins est, en général, ou légèrement

acide ou neutre. On ne trouve pas de courant entre les reins ou la vessie et le foie, et nous avons dans ce cas l'urine acide. Une solution légèrement alcaline, suffisante à neutraliser l'acide de l'estomac, ne détruit pas le courant entre l'estomac et le foie, et n'en change pas la direction. Ces expériences semblent s'accorder pour établir que ce n'est pas à la réaction des acides et des alcalis des liquides des sécrétions que ces courants sont dus. Peut-être la cause est-elle la même que pour le courant propre de la grenouille que nous venons d'étudier.

Toutefois, les expériences de M. Douné ne cessent pas d'être dignes de toutes les considérations des physiologistes, et une étude plus approfondie nous conduira peut-être à des découvertes d'un plus grand intérêt.

TABLE DES MATIÈRES

SECONDE PARTIE.

EXPLICATION DES FIGURES

Figure I.

Torpille préparée pour faire voir les cerveau, l'organe électrique et les nerfs qui partent du quatrième lobe et s'y ramifient.

Figure II.

Cerveau de la torpille vu en grand.

a. Premier renflement qui paraît répondre aux lobes cérébraux.

b. Second renflement qui répond aux tubercules optiques ou quadrijumeaux.

c. Troisième renflement qui représente le cervelet.

d. Quatrième lobe, lobe électrique, renflement de la moelle allongée suivant M. Flourens.

ee'e''e'''. Troncs nerveux qui viennent du quatrième lobe et se ramifient dans l'organe.

e''''. Filet nerveux qui a la même origine et qui va à l'estomac.

Figure III.

Appareil qui démontre que la torpille ne change pas de volume lorsqu'elle se décharge. (Voy. chap. 3).

c. Grand bocal de verre plein d'eau où l'on introduit une torpille très-vivante. Le bocal est fermé avec un bouchon de liége qui porte un tube de verre. Une grenouille préparée est placée sur la torpille pour montrer l'existence du courant et de la décharge : Pendant la décharge l'eau du tube conserve son niveau.

Figure IV.

Expérience qui démontre que le passage du courant électrique dans le lobe électrique, ou dans les nerfs qui vont à l'organe, ou dans ces nerfs mêmes après avoir séparé l'organe de la torpille, détermine la décharge ordinaire.

zc. Pile à colonne de 18 à 20 couples.

zz', *cc'*. Réophores qui conduisent le courant aux nerfs.

a. Lame de platine ou d'argent sur laquelle on pose les nerfs afin d'introduire le courant sur tous les nerfs à la fois.

o. Organe électrique d'une torpille séparée de l'animal vivant.

g. Grenouille préparée pour indiquer le moment de la décharge.

m. Galvanomètre disposé sur les deux faces de l'organe avec ces deux extrémités en platine pour indiquer le sens et l'intensité de la décharge.

Figure V.

Appareil pour obtenir l'étincelle de la torpille :

A, *B*. Deux plats métalliques isolés.

T. Torpille vivante interposée.

l l. Deux feuilles d'or attachées aux deux fils soudés aux bords des deux plats.

Figure VI.

Expérience qui montre l'action simultanée des deux courants de forces inégales sur une même grenouille.

zc. Pile de 15 à 20 couples.

z'c'. Couple, zinc et cuivre.

g. Grenouille préparée.

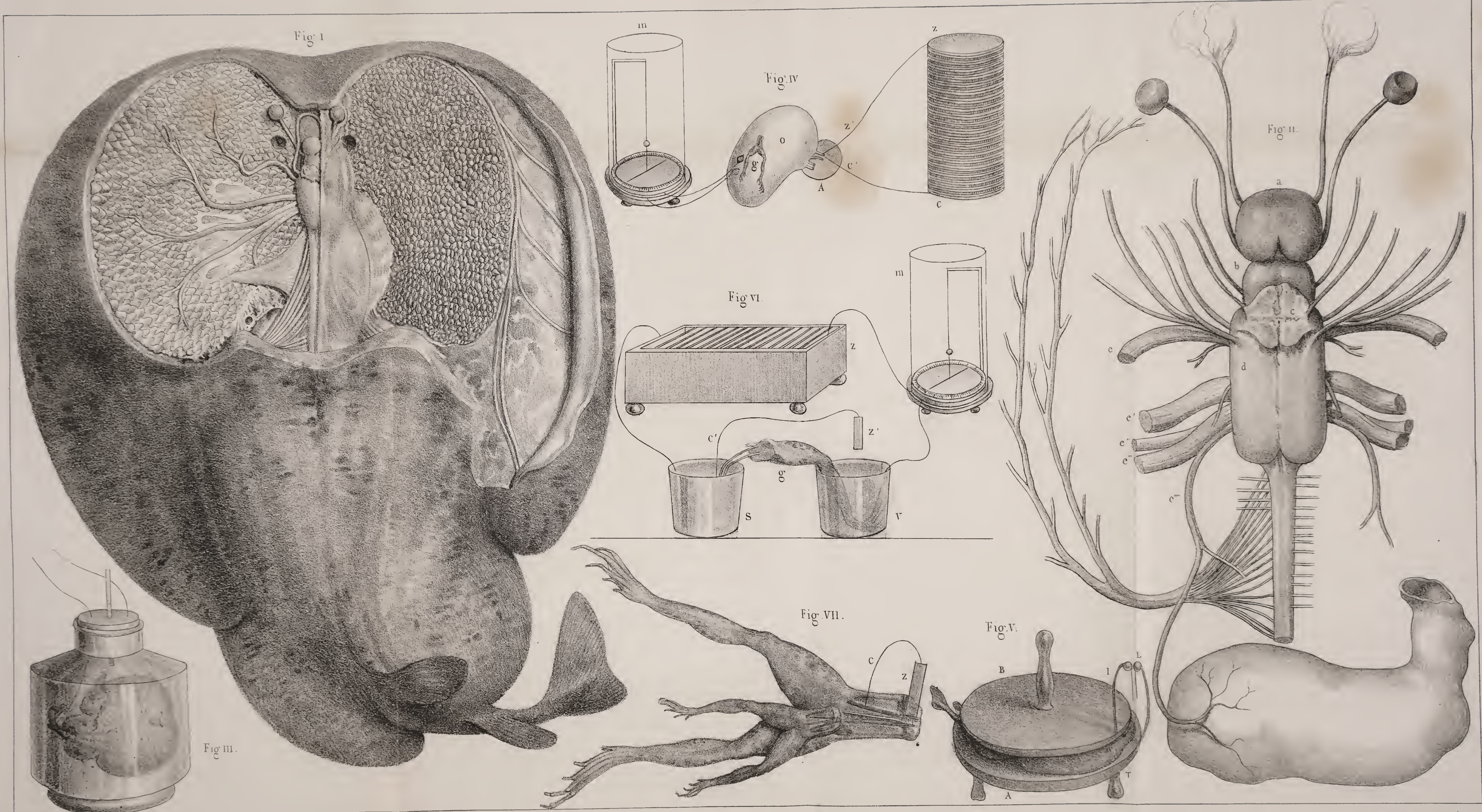
SV. Verres d'eau.

M. Galvanomètre.

Figure VII.

Couple voltaïque, avec lequel en touchant les nerfs d'une grenouille préparée, sur les membres de laquelle on a étendu une autre grenouille préparée, la première se contracte tandis que la dernière reste en repos tant que l'on ne la comprend pas dans le circuit électrique. Cette expérience vient à la suite de celle décrite fig. 4, qui montre que la torpille avec son organe, produit la décharge sans que l'organe soit dans le circuit.

Torpille.



Dessiné par N. H. Jacob

Imp. Lemercier Benard et Cie

